ȘTIINȚA PENTRU TOȚI

95

IONIȚĂ ICHIM

Hipercontinentul înghețului veșnic



Știința pentru toți

Cunoștințe despre Univers

COLECȚIA „ȘTIINȚA PENTRU TOȚI“
apare sub egida
CONSILIULUI NAȚIONAL
AL
FRONTULUI DEMOCRAȚIEI ȘI UNITĂȚII SOCIALISTE

IONIȚĂ ICHIM

Hipercontinentul înghețului veșnic

25. VII. 1980
= București =
pregătire de definitivat



EDITURA ȘTIINȚIFICĂ ȘI ENCICLOPEDICĂ
București — 1980

CUPRINS

Redactor: SANDA STOIAN
Tehnoredactor: OLIMPIU POPA

Coli de tipar: 3,25. Bun de tipar: 3.04.1980.



Tiparul executat sub comanda nr. 659 la Întreprinderea poligrafică „13 Decembrie 1918", str. Grigore Alexandrescu nr. 89—97 București, Republica Socialistă România

CEAȚĂ, VÎNT, ZĂPADĂ ȘI TĂCERE

În secolul al XVI-lea, mai precis între anii 1576—1578, unul dintre zecile de mii de căutători de aur, pe nume *Martin Frobisher*, a ales pentru încercarea norocului locuri mai puțin umblate, și anume Insula Baffin, al cărei versant răsăritean se ridică la peste 2000 m deasupra nivelului mării. O insulă imensă situată în extremitatea sudică a celui mai mare grup de insule de pe glob — Arhipelagul Arctic Canadian. Acesta începe de la 83° latitudine nordică (Capul Columbia) — la circa 500 mile depărtare de Polul Nord — și ține pînă la sud de Cercul Polar, respectiv sudul Teritoriului Baffin. Arhipelagul se află în întregime dincolo de limita nordică a pădurilor, cuprinzînd ținuturi inospitaliere, caracterizate prin temperaturi medii anuale sub —20°C, iar în verile cele mai călduroase de peste 4°C, în mod excepțional ajungînd la 7°C. Iarna, cu deosebire în timpul lunii celei mai reci (ianuarie), temperatura coboară foarte rar la peste —30°C. „Inospitalitatea" acestor ținuturi se manifestă și față de razele soarelui, căci din cauza covorului de zăpadă radiația solară ce se reîntoarce spre neantul sideral al nordului poate ajunge, prin reflectare, la peste 80% din totalul radiației ce ajunge la suprafața Pămîntului în această

parte a globului. Vegetația este extrem de redusă și aproape lipsită de variație : cîteva specii de mușchi și de licheni (din ce în ce mai rari spre nord), pînă cînd deșerturile de piatră și zăpadă devin atotstăpînitoare, în timp ce spre sud apar doar cîteva specii de rogoz arctic și sălcii pitice. Acesta este, în linii mari, ținutul pe care Martin Frobisher și l-a ales ca țintă, deși nu-l cunoștea sub aceste caracteristici.

Dacă i-ar fi trecut prin minte temerarului explorator, fie numai pentru o clipă, o imagine de felul celei pe care marele poet Esenin (1895—1925) ne-a lăsat-o mai tîrziu despre iarnă — „Ceață, vînt, zăpadă și tăcere“ — și care poate fi considerată o tulburătoare definiție a întinderilor polare, poate că ar fi renunțat la visele lui. S-ar fi îndreptat, cu siguranță, tot spre acel vest sălbatic ars de soarele dogoritor și brăzdat de roțile neostenite ale carelor. El însă a ales nordul. Trei expediții a organizat și condus, întemeind așezări pentru viitoarele exploatări miniere, și tot de atîtea ori eforturile de a face excavații, de a deschide galerii în care să apară metalul miraculos, s-au izbit de un „inamic“ neprevăzut : *înghețul veșnic al solului*, care s-a dovedit mai puternic decît orice ar fi întreprins exploratorul și oamenii lui. Plecase spre nord cu optimismul nețărmurit al exploratorului încrezător în visele reușitei sale, acolo unde :

„La marginea lumii,
Crește lumina
. . . .
De pretutindeni, zorii se-nalță
și-acoperă umbrele nopții“[1].

[1] *Norul*, cap. *Poezie indiană*, pp. 4—5, în vol. *Antologie de poezie americană de la începuturi pînă azi*, Ed. Minerva, col. „Biblioteca pentru toți“, București, 1977.

(melos al populației de indieni zuni din New Mexico). S-a întors cuprins de tristețea nereușitei trăite, ca toți cei care au întîmpinat inospitalitatea acestor locuri spunîndu-și poate :

„Plec de pe aceste pămînturi :
m-ați alungat de pe aceste pămînturi.
Dar umbra amintirii mele rămîne
în ape-n văzduh, în copaci, în iarba voastră,
în sufletul pămîntului. Pe veci“[2].

Și amintirea lui a rămas prin săpăturile de amploare făcute în lupta cu înghețul veșnic al solului, care sînt considerate, după cum afirmă savantul canadian *R. J. E. Brown*, printre primele observații mai temeinice asupra acestui fenomen. În prezent el acoperă peste 20% din suprafața uscatului, iar în urmă cu 15—20 000 de ani reprezenta circa 2/5, încît, în sens figurativ, se poate vorbi de un adevărat *hipercontinent* al înghețului veșnic.

Multă vreme, datorită vitregiei naturii, aceste regiuni nu au stîrnit în mod deosebit interesul exploratorilor, deși pe cuprinsul lor trăiau comunități de oameni adaptați acestor condiții, continuitatea de locuire datînd de milenii. Este suficient să menționăm că în Groenlanda, una dintre cele mai mari insule ale globului, din a cărei suprafață de 2 175 600 km ^{2}, doar 341 700 km^2 nu sînt acoperiți cu gheață, există dovezi că omul a populat aceste ținuturi începînd cu cel puțin 4000 de ani în urmă, iar din perioada preistorică numită *Sarqaq* (anii 3500—2700 înainte de timpul prezent) se păstrează indicii ale folosirii gră-

[2] *Cîntec de rămas-bun* al populației de indieni Crow (Montana), în *op. cit.*, p. 8.

simii pentru iluminat (*Anker Wiedick*, 1975). De la flacăra acestor luminări, semănate ca niște boabe de speranță pe marginea nopții polare în așteptarea soarelui, și pînă la flacăra gazelor naturale din îndepărtata localitate Barrow, a nordului Alaskăi, s-au scurs peste trei milenii, dar nordul îndepărtat, ca și Antarctica, nu a stîrnit adevăratul interes din punct de vedere științific și economic decît în timpurile moderne. Pentru multă vreme, cauza întîrzierii a constituit-o, fără îndoială, lipsa posibilităților de a învinge vitregiile gerului, căci de la legendele locuitorilor nordici sau ale celor din constelația insulelor polineziene, care l-au dat pe marele navigator Hui-Terangiora (aproximativ în anul 650 î.e.n.), primul ce se pare că a văzut țărmurile Antarcticii, și pînă la însemnările de călătorie ale exploratorilor din secolele XVI—XIX, orice referiri cu privire la posibilitățile, dar mai ales la folosul exploratorilor unor asemenea ținuturi, erau descurajatoare. Să menționăm o însemnare din jurnalul celebrului explorator James Cook, care a presupus existența unui continent în jurul Polului Sud ca urmare a celei de-a doua călătorii întreprinse în mările sudice între 1773—1775 : „Aceste ținuturi sînt condamnate de natură la un ger veșnic, lipsite de căldura razelor de soare. N-am cuvinte să descriu aspectul lor sălbatic și înspăimîntător" și, dezolat, conchidea : „dacă cineva va găsi în el atîta hotărîre și îndîrjire încît să rezolve această problemă mai departe spre sud, nu-i voi invidia gloria pe care i-o vor aduce-o descoperirile sale. Dar trebuie să spun că aceste descoperiri vor aduce foarte puțin folos omenirii" [3].

---

[3] *JAMES COOK, Jurnal de călătorie*, Editura științifică. București, 1959, p. 157.

Timpul a trecut, numărul explorărilor și apoi al observațiilor cu însemnarea unor date precise s-a mărit ; interesele economice au grăbit organizarea unor adevărate campanii de cercetare. Anul 1836 a constituit o cotitură prin observațiile rusului *Alexander Theodor Middendorf*, care a măsurat în Siberia temperatura permafrostului pînă la o adîncime de circa 116 m. Un salt uriaș în efectuarea cercetărilor domeniului înghețului veșnic s-a declanșat după al doilea război mondial, remarcîndu-se, în acest domeniu, cercetările canadiene, sovietice și americane, legate implicit de valorificarea imenselor spații condamnate la îngheț veșnic. Problema permafrostului, sau a subsolului înghețat, a devenit astfel de interes internațional, iar în Actul final al Conferinței de la Helsinki se prevede, special, colaborarea științifică pentru aspectele legate de permafrost. Au fost create o serie de organisme naționale și internaționale, și s-au ținut pînă în prezent trei conferințe internaționale în domeniul permafrostului. Ultima a avut loc între 10—13 iulie 1978 la Edmonton (Canada). Orientările generale ne pot da o imagine concludentă a vastității aspectelor și direcțiilor de cercetare, chiar prin simpla enunțare a obiectivelor acestei Conferințe : factorii geologici ce determină condițiile de distribuție a gheții în sol ; hidrologia și permafrostul ; vegetația și permafrostul ; perturbațiile terenului și permafrostul ; teledetecția și cercetarea permafrostului ; comportarea fundațiilor în permafrost ; concepția construirii barajelor în permafrost ; concepția lucrărilor de construcții civile și conducte. Dar ca în orice domeniu, și în acest caz există un cîmp nelimitat de investigație și cunoaștere. S-ar putea ca pentru cei ce nu se află în zona

înghețului veșnic aceste aspecte să pară spectaculoase sau, dimpotrivă, lipsite de importanță pentru a le aduce în discuție într-o lucrare ca cea de față. În acest sens trebuie să menționăm însă că teritoriul României se afla, în urmă cu 15—20 000 de ani, în imperiul înghețului veșnic și că multe dintre elementele cadrului natural de astăzi poartă amprenta acestei etape de evoluție.

CE ESTE ÎNGHEȚUL VEȘNIC SAU PERMAFROSTUL ?

Înghețul veșnic, iată un fenomen care, cel puțin pentru ținuturile nordice și ale extremului sud, constituie o caracteristică principală a evoluției actuale a mediului natural, care are profunde implicații în activitatea economică de prospectare și exploatare a resurselor naturale, a condițiilor de habitat în general. Dar acest fenomen, care în ultima perioadă rece a Cuaternarului (Würm) a cuprins vaste suprafețe, pînă la latitudinea țării noastre și chiar mai la sud, iar în emisfera sudică a ajuns pînă la aproape 40° latitudine, interesează, într-o bună măsură, teritorii mult mai întinse decît cele în care este prezent în zilele noastre. Identificarea efectelor înghețului veșnic în litogeneză, morfogeneză, în evoluția rețelei hidrografice, în evoluția lumii plantelor și animalelor este de un mare interes pentru reconstituirea condițiilor de evoluție a planetei în timpul perioadelor de răcire a climei. Este de înțeles, în acest sens, că lămurirea noțiunii de *îngheț veșnic* prezintă importanță, deopotrivă, pentru descifrarea trecutului reliefului și condițiilor bioclimatice, dar și pentru cu-

noașterea celor actuale din zonele cuprinse în aria temperaturilor medii anuale negative.

În limba română, expresia de „îngheț veșnic“ este o traducere a cuvîntului de limbă engleză *permafrost* pe care *S. W. Muller* l-a introdus în 1943 ca o abreviere pentru expresia *permanently frozen*; de asemenea, poate fi socotită o preluare a termenului francez *pergélisol* care, tradus cuvînt cu cuvînt, înseamnă sol înghețat permanent. Termenul consacrat de literatura științifică este însă cel de *permafrost*, pe care îl vom folosi și noi referindu-ne la înghețul veșnic sau solul înghețat peren. Aceasta, și pentru că din el derivă foarte multe noțiuni a căror traducere ar îngreuna posibilitatea înțelegerii fenomenelor; este suficient să menționăm că un recent dicționar al terminologiei permafrostului prezintă 237 termeni consacrați, dintre care 27 se referă numai la tipurile de permafrost, deci de soluri veșnic înghețate.

În definirea noțiunii de permafrost o problemă majoră o constituie prezența cuvîntului „înghețat“ *(frozen)*, care, evident, presupune un proces de transformare a apei din stare lichidă în gheață. Din această cauză unii specialiști consideră că definirea noțiunii trebuie raportată strict la solurile sau depozitele în care prezența gheții este o realitate. Cea de-a doua opinie, care de altfel s-a impus cu prioritate, ia în considerare, în definirea permafrostului, în primul rînd, faptul dacă sînt realizate condițiile termice de temperaturi medii anuale sub 0°C, mai mulți ani de-a rîndul, indiferent dacă solul sau depozitele conțin sau nu gheață. Prin urmare, permafrostul, așa cum rezultă din dicționarul termenilor consacrați, este definit pur și simplu ca o condiție termică a solului, a depozitelor în general, după cum urmează: „o apariție naturală de material care are o temperatură medie anuală mai mică de 0°C cel puțin doi ani consecutiv“ (*R.J.E. Brown* și *W. O. Kupsch*, 1974). Parțial sau în întregime, conținutul de umezeală al solului poate fi înghețat, ceea ce depinde însă și de natura chimică a apei, de presiune, de forța capilară a rocilor etc. De exemplu, s-a constatat că în imediata vecinătate a Oceanului Arctic, solurile îngheață la temperaturi mai mici de 0°C. Savantul canadian *R. Mackay* (1972) menționează un caz interesant la vărsarea fluviului Mackenzie, unde, în timpul verii, ape sărate suprarăcite (—1,2°C pînă la —1,6°C) pătrund pe fundul albiei fluviului fără a îngheța.

Creșterea în grosime a permafrostului reflectă un bilanț negativ al căldurii la suprafața solului, fapt pentru care stratul înghețat în timpul iernii nu se dezgheață complet în timpul verii; dacă situația se repetă în anul următor, fenomenul de îngheț migrează în adîncime. Cu alte cuvinte, ne aflăm în domeniul înghețului veșnic.

Bilanțul termic la suprafața solului, pe de o parte, și valoarea gradientului geotermic, pe de altă parte, determină grosimea permafrostului, baza acestuia fiind secțiunea unde se realizează o temperatură medie de 0°C (fig. 1 a). Se cunoaște, de exemplu, că temperatura crește pe măsură ce înaintăm spre interiorul Pămîntului aproximativ cu 1°C la circa 30—60 m adîncime. În acest caz, se consideră că baza permafrostului este adîncimea la care temperatura crește (datorită căldurii interne a Pămîntului) pînă la depășirea punctului de îngheț de la suprafață. Dacă temperatura medie de la suprafață crește, atunci și baza permafrostului urcă (fig. 1 b), această urcare fiind, în primul rînd, efectul fluxului caloric intern care, după unii specialiști (*Terzaghi*, 1952, citat de *R. Mackay*, 1972) poate atinge un ritm maxim de 2 cm/an ridicare a bazei permafrostului. Cînd valoa-

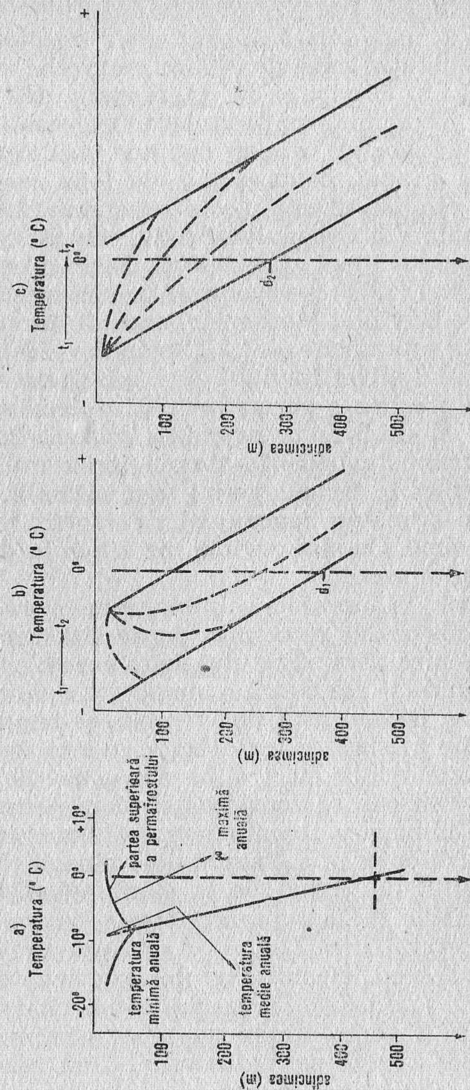


Fig. 1. Relații între permafrost, temperatura solului și adîncimea înghețului (după *Lachenbruch*, 1968):

a) determinarea limitei inferioare și superioare a permafrostului de la t_1 la t_2;
b) efectul creșterii temperaturii la suprafața solului este ridicarea bazei permafrostului de la d_1 la d_2;
c) efectul coborîrii temperaturii la suprafața solului de la t_1 la t_2, este creșterea grosimii permafrostului de la suprafață la d_2.

rea temperaturii medii anuale scade, baza permafrostului coboară (fig. 1 c). Partea superioară a permafrostului este supusă anual fenomenelor de îngheț-dezgheț și formează așa-numitul „strat activ“ sau „molisol“ (sol moale), care variază ca grosime de la cîțiva centimetri la 1—3 m și chiar mai mult ; dar aceste grosimi depind nu numai de bilanțul caloric ci și de o serie de factori cum ar fi : alcătuirea litologică, gradul de acoperire cu zăpadă, covorul vegetal, morfologia terenului etc. De exemplu, în aceeași fîșie latitudinală sau mai bine spus, în aceleași condiții de temperatură, în depozitele argiloase grosimea stratului activ este mai mică decît în condițiile de depozite cu granulometrie grosieră ; de asemenea, în ariile depresionare, chiar la mici excavații, grosimea este mai mică decît pe ariile mai ridicate. După cercetări efectuate în delta fluviului Mackenzie, profesorul *Mackay* a stabilit o serie de corelații între grosimea permafrostului, tipuri de depozite (după granulometrie), microrelief, vegetație și, bineînțeles, temperatură.

Pentru calculul grosimii permafrostului se consideră, după cei mai mulți specialiști, un gradient geotermic mediu de 1°C/50 m. Cunoscîndu-se valoarea temperaturii medii de la suprafața solului se poate aprecia, relativ simplu, grosimea. De exemplu, la o temperatură medie anuală de —10°C, grosimea permafrostului este de circa 500 m. Dar nu întotdeauna această grosime crește constant, în raport de cele două condiții principale, respectiv bilanțul termic de la suprafața Pămîntului și fluxul caloric intern, întrucît intervin o serie de factori locali, ca : prezența unor importante mase de ape, conductivitatea termică diferită a rocilor, precum și succesiunea în timp a unor stări climatice, acestea din urmă determinînd faze de agradare (dezvoltare a permafrostului) cu

faze de degradare (distrugere). În acest fel, în masa permafrostului pot apărea lentile de depozite care au ieșit din zona temperaturilor negative ; sînt așa-numitele zone *talik*. În cazul maselor de apă se apreciază, de exemplu, că dacă un lac nu îngheață pînă la fund, sub el nu există permafrost sau se consideră că zona de dezgheț se apropie mult de baza permafrostului. Dacă cea mai mică lățime a unui lac sau a unui curs de apă este cel puțin jumătate din grosimea permafrostului zonelor înconjurătoare, atunci este posibil ca sub această masă de apă solul să se mențină peste temperatura de realizare a înghețului peren pînă în baza permafrostului regiunilor vecine. *Lachenbruch* (1968) a imaginat o reprezentare plastică a raportului dintre masele de apă de la suprafață și grosimea permafrostului (fig. 2).

Grosimea permafrostului variază între limite foarte mari : de la cîțiva metri la circa 1 600 m, cît se apreciază că are în Siberia. Dar trebuie spus că această grosime din Siberia se datorește prezenței unui permafrost fosil, sub permafrostul actual, de vîrstă pleistocenă, ceea ce înseamnă o vîrstă de cel puțin cîteva zeci de mii de ani.

Indiferent dacă este vorba sau nu de permafrost actual sau relict, prezența lui ridică serioase probleme în amenajarea și utilizarea mediului regiunilor înghețului veșnic. Ceea ce constituie un element de o deosebită importanță, este faptul că prezența permafrostului presupune, obligatoriu, asocierea unui întreg complex de factori și condiții climatice, biogeografice, de transformare a rocilor și de modelare a reliefului cunoscut sub numele de *mediu natural periglaciar*. Este necesar ca aici să deschidem o paranteză precizînd că termenul de *periglaciar* a fost propus în 1910 de geologul polonez *Walery Łozinsky* pentru a caracteriza mediul în care au loc transfor-

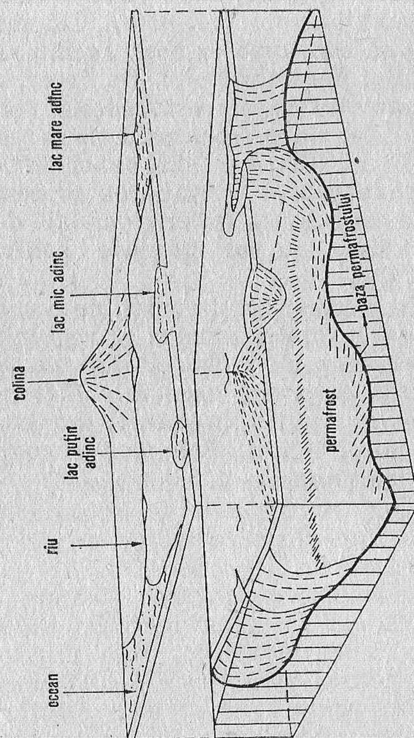


Fig. 2. Efectele unor factori naturali asupra răspîndirii și grosimii permafrostului (*Lachenbruch*, 1968).

mările rocilor în vecinătatea ghețarilor pleistoceni din Carpați. În prezent, noțiunea a căpătat un conținut mai complex și se înțelege acel mediu natural în care acțiunea proceselor de îngheț-dezgheț este dominantă ; prin urmare, acel mediu caracterizat prin temperaturi scăzute (negative). Cei mai mulți autori înclină să considere că acest mediu se suprapune domeniului permafrostului. De aceea, expresia *domeniul înghețului veșnic* este adesea folosită în locul celei de *domeniu periglaciar*. Este necesară însă o precizare : limita inferioară din punct de vedere al regimului termic pentru dezvoltarea proceselor periglaciare este considerată izoterma anuală de +3°C, limită pînă la care se pot produce solifluxiunile (*H. French*, 1976).

În concluzie, permafrostul constituie o caracteristică esențială a mediului natural al regiunilor reci, fiind în același timp un indicator climatic. El influențează evoluția covorului vegetal, a hidrografiei și este influențat de acestea, precum și de alte componente ale mediului natural. Este ceea ce vom încerca să arătăm în continuare.

PE GRANIȚELE DE ACUM ȘI... CU 20 000 DE ANI ÎN URMĂ ALE ÎNGHEȚULUI VEȘNIC

Am arătat că izoterma medie anuală de 0°C constituie limita domeniului înghețului veșnic sau a permafrostului. De la această izotermă spre poli, adevărata vară lipsește. Cele cîteva luni de zile cînd mercurul termometrelor urcă peste 0°C, atingînd cîteodată valori incredibil de mari pentru aceste regiuni (38°C în Iakuția), nu pot compensa rigoarea generală a climatului. Dominanta rămîne timpul în care se înregistrează temperaturi negative foarte coborîte, cînd valorile medii ale lunii celei mai reci scad sub —40°C. În acest fel, întregul peisaj poartă amprenta dată de deficitul de căldură.

Teritoriile cuprinse în acest domeniu, spre regiunile polare ca și din masivele montane înalte, ocupă peste 20% din suprafața uscatului. După *I. I. Baranov* (1959, citat de *H. French*, 1976), distribuția permafrostului în principalele regiuni ale globului este următoarea : Antarctica = 13,5 mil. km^2 ; U.R.S.S. = 11 mil. km^2 ; R. P. Mongolă = 0,8 mil. km^2 ; R. P. Chineză (în afară de zona Tibetului) = 0,4 mil. km^2 ; Alaska = 1,5 mil. km^2 ; Canada = 5,7 mil. km^2 ; Groenlanda = 1,6 mil. km^2,

ceea ce înseamnă, în total, circa 34,5 mil., km^2, din care 21 mil. km^2 în emisfera nordică. Cu alte cuvinte, este vorba de un uriaș continent condamnat la frig veșnic. Dar în cadrul acestei imense întinderi, regimul termic, corelat cu alți factori, introduce o diferențiere pregnantă în răspîndirea permafrostului. Se consideră, de exemplu, că izoterma de —6° închide domeniul așa-numitului *permafrost continuu*, iar între izoterma de —6°C și cea de 0°C este domeniul *permafrostului discontinuu*. Limita între cele două domenii nu este apreciată de toți specialiștii ca fiind de —6°C; unii consideră izoterma de —5°C, iar alții pe cea de —8°C.

Permafrostul continuu se caracterizează prin grosimi foarte mari, depășind 100 m, iar în zonele circumpolare chiar pînă la 1000 m și mai mult. Formează o zonă continuă și are un strat activ cu grosime mică (între 10—100 cm), temperaturile medii anuale de la suprafață ajungînd pînă la valori sub —20°C și mai coborîte, așa cum este în Iakuția. Permafrostul discontinuu are apariții insulare, grosimea de îngheț permanent a solului putînd varia de la 10 cm la circa 100 m, la limita cu permafrostul continuu; local poate depăși această grosime. Cele două mari zone de permafrost se deosebesc însă și sub aspectul celorlalte condiții ale mediului (climă, hidrografie, vegetație, tipuri de modelare a reliefului etc.). Profesorul *T. L. Péwé* de la Universitatea din Arizona, care este și Președinte al Comitetului de permafrost al Academiei de științe a S.U.A., a alcătuit o hartă a răspîndirii actuale a permafrostului (fig. 3) numai pentru emisfera nordică, de unde reiese clar că aria înghețului veșnic coboară în zona Siberiei pînă la sud de paralela de 50° lat. nordică. Pe această hartă nu sînt trecute însă, ca de altfel și în calculele lui Baranov, ariile

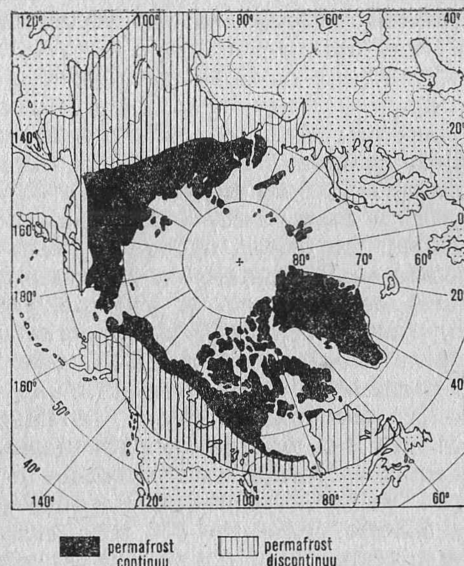


Fig. 3. Extinderea actuală a zonelor cu permafrost din emisfera nordică (după *T. L. Péwé*, 1976).

cu permafrost din principalele masive montane: Munții Stîncoși, Munții Mauna Kea (din Hawaii), Munții Alpi, Fujiyama etc. Observăm din aceeași hartă că atît pe teritoriul Canadei cît și pe cel al Uniunii Sovietice limita sudică a înghețului peren al solului coboară pînă la latitudinile mijlocii. Cauza o constituie prezența permafrostului relict, care nu s-a degradat în perioada postglaciară cuaternară și se află în continuitate cu aria permafrostului actual.

Referindu-ne la principalele zone actuale incluse ariei permafrostului consemnăm următoarele observații care ne pot fi utile la explicarea altor fe-

nomene specifice acestor regiuni : pe teritoriul Uniunii Sovietice, din care aproape 50% este ocupat de permafrost, zona de la est de Obi se află, practic, în întregime în acest regim, iar grosimea permafrostului descrește dinspre coasta Oceanului Arctic spre sud, de la circa 500—600 m în zona Verhoiansk-Kolîma, la 100 m de granița cu R. P. Mongolă. O grosime foarte mare este în nordul Iakuției unde, așa cum am arătat, ajunge la peste 1600 m. Este o foarte mare abatere de la raportul dintre temperatura medie anuală și grosime. După unii specialiști, cauza o constituie pătrunderea unor ape sărate suprarăcite la adîncime, alții cred că este vorba de permafrost relict, format în alte condiții decît cele actuale. Mai există un fenomen căruia pînă acum nu i s-a găsit o explicație unanim apreciată, și anume : permafrostul siberian este mult mai „rece". Valoarea treptei geotermice este cuprinsă, în Siberia, între 40—170 m adîncime, pentru creșterea temperaturii cu 1°C, iar în zonele neînghețate ajunge la 1°C/135 m. În schimb, în America de Nord, în zona înghețului peren, s-a constatat un gradient mai mic, de 1°C/20 m, în apropierea marilor rîuri și de 1°C/55 m în apropierea oceanului. Prin urmare, grosimea permafrostului din Siberia, ca abatere de la corelațiile care există între regimul termic de la suprafață și mărimea treptei geotermice, este considerată un efect al evoluției geologice diferite de a nordului continentului american, în timpul glaciațiilor cuaternare.

Canada și Alaska reprezintă alte două mari regiuni ale domeniului înghețului veșnic. În prima, permafrostul ocupă circa 50% din suprafață, iar în a doua, circa 80% din întreaga suprafață. Limita sudică ajunge pînă la sud de Lacul Sclavilor și apoi la sud de Golful Hudson, unde grosimea ajunge la

60—90 m, pentru ca în arhipelagul canadian să depășească 500 m și mai mult. Grosimea maximă este în Insula (Teritoriul) Baffin, unde ajunge la circa 1000 m.

Am arătat că, atît pe teritoriul Uniunii Sovietice, cît și pe cele ale Alaskăi și Canadei, în limitele ariei permafrostului, temperaturile medii anuale scad sub —20°C. Cu toate acestea, ne aflăm în afara calotei glaciare, iar ghețarii sînt sporadici ; ba mai mult, în zone cu temperaturi medii anuale de —10°C există păduri. După opinia celor mai mulți specialiști, cauza lipsei ghețarilor o constituie climatul secetos, adică precipitații puține. Cît despre avansarea mult spre nord a pădurilor, aceasta este datorată faptului că limita ecologică a pădurilor, din punctul de vedere al raportului cu regimul termic, o constituie izoterma de 10°C a lunii celei mai calde. Or, în regiunile siberiene, chiar dacă valorile temperaturilor medii anuale scad sub 0°, iar iernile sînt extrem de friguroase, faptul că vara se înregistrează, timp de mai multe luni, temperaturi medii de peste 0°C (cu valoarea medie a lunii celei mai calde de 10°C), permite avansarea pădurii mult spre nord.

În contrast cu aceste regiuni ale permafrostului se plasează Antarctica și Groenlanda, care se caracterizează prin prezența unor calote glaciare groase datînd din cuaternar. Ceea ce ni se pare foarte interesant, cel puțin în cazul Groenlandei, unde gheața este atotstăpînitoare, ajungînd la grosimea de circa 1000 m, este faptul că ar fi de așteptat să ne aflăm în domeniul permafrostului continuu. Totuși, lucrurile stau altfel. Pe această insulă imensă se realizează temperaturi medii anuale de —31°C, în partea centrală, iar în zonele de țărm, chiar în Extremul nord, sub —18 și —14°C ; în timpul verii

partea centrală rămîne sub —11°C și depășește 0°C, pînă la 5°C, chiar în Extremul nord. *Anker Weidick* (1975), care prezintă detaliat situația permafrostului din Groenlanda, arată că permafrostul continuu se extinde pînă la sud de paralela de 66°, în partea de vest a insulei și urcă la circa 70° lat. pe țărmul de est, în sudul căruia se află permafrostul discontinuu. Această limită „traversează" ghețarul groenlandez, iar partea cea mai de sud a insulei, respectiv la sud de 62—63° lat., se află în zona așa-zisului permafrost sporadic, deși este în vecinătatea ghețarului. Acest paradox se explică prin instalarea unui bilanț termic pozitiv în partea de sud. În urma expedițiilor sale, *Fridtjof Nansen* considera că în Evul mediu țărmurile sudice aveau ghețari. Cît privește grosimea permafrostului, ea variază între 150—500 m la Thule, în Groenlanda (aproape de paralela de 78° lat.), unde stratul activ are între 0,5—2 m, și scade la 25—125 m în sudul insulei.

În sfîrșit, pentru a mai arăta un paradox al răspîndirii permafrostului, adăugăm cîteva date referitoare la *permafrostul submarin*. Este o prezență relictă, fiind format în condițiile în care o mare parte din coastele și chiar din fundul mărilor bordiere Arctice erau exondate (ridicate deasupra nivelului mării) în urma regresiunii marine, datorată, la rîndul ei, acumulării apei în ghețari și sustragerii acesteia din circuitul oceanic și al rîurilor. În această perioadă, nivelul general al Oceanului Planetar a scăzut cu cel puțin 110—120 m și întinse suprafețe au rămas supuse înghețului veșnic ; prin încălzirea generală a climei în postglaciar, nivelul Oceanului Planetar și al mărilor, în general, a crescut, atingînd situația actuală, iar unele suprafețe cu permafrost au rămas în domeniul marin. Explicația : apele marine sînt sărate, au un punct de îngheț mai scăzut decît al apelor dulci și stau într-o stare de suprarăcire (între 0° și —1,6°C), conservînd permafrostul relict. Grosimea permafrostului submarin ajunge la peste 150 m și chiar 500 m (în Marea Beaufort).

Recapitulînd cele trei situații cu totul diferite în care apare permafrostul, reținem următoarele aspecte importante care explică geneza acestuia : vaste regiuni continentale în care temperaturile medii anuale se află sub —20°C, dar nu există calotă glaciară, în timp ce grosimea permafrostului atinge aproape 1600 m ; există și vaste regiuni acoperite cu gheață, în care se realizează temperaturi medii anuale de 0°C sau apropiate de această valoare ; există, de asemenea, întinse suprafețe ale coastelor și fundului mărilor în care prezența permafrostului este o realitate de necontestat. Aceste aspecte vorbesc de la sine despre dificultatea de a se explica formarea permafrostului.

Înainte de a aduce în discuție o asemenea problemă, să ne întoarcem în urmă cu 15—20 000 de ani, în timpul ultimei perioade glaciare a cuaternarului, pentru a stabili „granițele" înghețului veșnic.

În ultima parte a cuaternarului, cunoscută în Europa Centrală cu numele de Würm, clima globului a cunoscut o răcire generală, iar ariile cu temperaturi medii anuale negative s-au extins foarte mult atingînd latitudini la care se află țara noastră. Tabloul extinderii principalelor calote glaciare în urmă cu 18 000 ani, prezentat de *G. Denton și colab.* la Congresul cuaternariștilor de la Birmingham (1977) ilustrează cum nu se poate mai bine această răcire a climei și includerea în aria permafrostului a unor vaste teritorii ale planetei, dat

fiind că atunci numai suprafețele acoperite cu ghețari erau mai mari decît actualele arii care cuprind permafrostul.

Tabelul 1

Reconstituirea arealelor cu înveliș de gheață existente în urmă cu 18 000 ani (după *G. Denton și colab.*, 1977)

Regiunea	grosimea gheții (m)	suprafața (km²)	volumul (km³)
Laurentide	3400	11,6 mil.	34 mil.
Cordilieri	2500	1,4 "	1,96 "
Inutiar	2200	0,92 "	1,96 "
Groenlanda	3200	3,13 "	5,10 "
Islanda	1660	0,27 "	0,267 "
Ins. Britanice	1700	0,71 "	0,945 "
Scandinavia	2700	3,310 "	8,940 "
Marea Barents	2300	2,320 "	5,630 "
Marea Kara	1900	1,190 "	2,500 "
Putorana	1800	0,435 "	0,499 "
Antarctica-vest	2660		
Antarctica-est	4650	16,100 "	37,600 "
Total		41,385 mil. km²	99,401 mil. km³

Cercetări minuțioase asupra unor elemente indicatoare climatice (depozite geologice, forme de relief în care acțiunea proceselor de îngheț-dezgheț a fost hotărîtoare, elemente biogeografice etc.) au pus în evidență extinderea cu totul excepțională a permafrostului din ultima perioadă a cuaternarului (peste 40% din suprafața uscatului). Pe continentul european calota glaciară înaintase pînă pe teritoriul Poloniei (zona orașului Kraków), iar în America de Nord, pînă în zona statului Wisconsin. În acea perioadă, principalele masive muntoase din țara noastră aveau ghețari, iar în emisfera sudică acțiunea îngheț-dezghețului se extindea, la altitudinea de circa 1000 m, pînă la 28° lat. sudică (zona statului Lesotho).

Analize corelative ale condițiilor actuale de morfogeneză în raport cu temperatura (din zonele permafrostului) au permis identificarea unor izoterme ce pot constitui indicatori pentru diferite procese; apoi, prin comparația actualelor condiții cu cele indicate de studiul fenomenelor periglaciare relicte, s-au putut trage o serie de concluzii. Astfel, olandezul *G. C. Maarlevald* (1976) consideră că actuala izotermă de 10° corespunde, ca traseu, cu izoterma anuală de —6° din timpul perioadei Würm. Acceptînd acest punct de vedere care a fost expus la Colocviul de la Aberystwyth (Țara Galilor), orice hartă a globului cu izotermele anuale ne poate oferi o imagine foarte generală a extinderii permafrostului. Indiferent dacă luăm sau nu în calcul această metodă de reconstituire a ariei permafrostului, există multe dovezi că inclusiv teritoriul României se afla în întregime în domeniul înghețului veșnic, iar în partea înaltă a Carpaților românești erau ghețari.

Direct sau indirect, instalarea condițiilor de climă rece în cele două emisfere, în timpul cuaternarului, pînă la latitudini mijlocii, a avut efecte deosebite nu numai în limitele domeniului înghețului veșnic, ci și în afară de acesta, ca de exemplu, Lacul Kivu din Africa (unul dintre cele mai mari de pe glob) care a înregistrat o scădere a nivelului apelor cu aproape 400 m, iar fluviul Senegal a avut perioade de secare completă.

MARILE SCHIMBĂRI CLIMATICE... GENEZA ÎNGHEȚULUI VEȘNIC

Am arătat că raportul dintre temperatura aerului și fluxul caloric al scoarței Pămîntului către suprafață determină prezența sau lipsa fenomenului de îngheț veșnic. Aceasta înseamnă că desfășurarea înghețului veșnic trebuie căutată, pe de o parte, în dinamica elementelor ce provoacă marile schimbări climatice, iar pe de altă parte, în dinamica elementelor care determină variația fluxului caloric, concretizată în valoarea treptei geotermice, în general. Dinamica elementelor care determină schimbări climatice este cauza primordială a apariției fenomenului la care ne referim, în timp ce fluxul caloric poate produce variații ale grosimii permafrostului. De asemenea, originea înghețului veșnic trebuie abordată în legătură cu cauzele glaciațiilor continentale.

De-a lungul timpului, cauzele care au determinat și determină modificări climatice la scară regională și planetară au fost apreciate în mod diferit, neajungîndu-se încă la un consens în accepția unui punct de vedere. Se cunoaște, de exemplu, că variația activității solare este un factor de primă importanță; de asemenea, se știe că înclinarea axei Pămîntului, a orbitei sale de revoluție, poziția polilor magnetici, constituie o altă grupă de factori care au profunde implicații în geneza marilor schimbări climatice. În sfîrșit, fenomenele de formare a sistemelor muntoase și evoluția continuă a raportului uscat-apă, în sensul mediu continental-mediu oceanic, pot genera importante schimbări climatice.

Rolul activității solare în schimbările climatice trebuie analizat în contextul formei Pămîntului, a poziției sale pe orbita de mișcare în jurul Soarelui și în jurul axei sale și, evident, în contextul variației elementelor orbitei Pămîntului. Acesta primește doar circa două miliardimi din energia totală emisă de soare, care asigură actualele condiții bioclimatice, dar această energie nu este distribuită uniform la suprafața Pămîntului, ci depinde de valoarea unghiului sub care cad razele Soarelui. Valoarea maximă a insolației (energia solară radiantă incidentă pe suprafața expusă) va fi în punctul unde razele solare cad vertical. Planeta noastră avînd mai mult sau mai puțin forma sferică, valoarea maximă a insolației se află în zona ecuatorială, apoi pe măsură ce înaintăm spre cei doi poli, unghiul de incidență se micșorează foarte mult și, în consecință, energia radiantă va fi extrem de mică. Aceasta ar explica, în condițiile actuale, de ce zonele cu temperaturi mai mici sînt situate spre Poli. Dar în decursul timpului geologic, ariile cu temperaturi mari nu au fost întotdeauna în actualele zone. Mai mult, regiunile care în prezent sînt caracterizate ca cele mai întinse deșerturi ale globului, de exemplu Sahara, în anumite perioade geologice au constituit domeniul unor calote glaciare continentale. Cercetătorul francez *B. Biju Duval* s-a ocupat în detaliu

de problema glaciațiilor paleozoice și prepaleozoice din Africa și a identificat elemente certe ale unor astfel de condiții pentru perioada precambrian (cu 600 milioane de ani în urmă) și silurian (cu circa 400 milioane de ani în urmă). Iată o dovadă a unor astfel de schimbări în timp, dar și în spațiul geografic al Planetei, fapt ce atestă conjugarea a cel puțin doi factori în determinarea acestor fenomene : 1) care marchează variația energiei radiante în timp și, 2) care marchează variația în spațiu. În primul caz este vorba de variația activității solare în decursul timpului, în al doilea caz, de variația elementelor orbitei de mișcare a Planetei în jurul Soarelui, dar și a valorii înclinării axei sale.

Pe baza analizei variației elementelor orbitei Pămîntului cercetătorul iugoslav *Milancović* (1930) a identificat posibilitatea realizării unor cicluri în schimbările climatice, cicluri mari a 1 000 000, 40 000 și 25 000 de ani, în care se cuprind cicluri mai mici, de 2000—2500, 1000—1300, 400 și 200—250 ani ; apoi, în cadrul acestora, cicluri de 80—100, 50, 19—23, 5,5 și 2 ani (citat după *H. Lamb*, 1977). Aceste cicluri, pe de o parte, și cele ce se produc în activitatea solară, pe de altă parte, se presupune, în linii mari, că ar determina schimbările climatice majore. Cercetări mai recente vin să confirme prezența unei anume ciclicități în schimbările climatice ale globului. De exemplu, geologul suedez *N. A. Morner* se ocupă, în mai multe lucrări, de identificarea, pe baze complexe, a unor cicluri climatice, a fenomenului de variație a nivelului apelor Oceanului Planetar, a analizei depozitelor continentale și maritim-lacustre, precum și a analizei variației unor condiții astrofizice. Concluziile lui întăresc ipoteza lui *Milancović*. El distinge cicluri scurte cu o frecvență de la 230 la 1000 ani,

cicluri de 1000—3600 ani și de 21 000 ani ; în cadrul ultimului, între culminația care marchează încălzirea maximă și cea care marchează răcirea maximă este aproximativ o durată de 10 500 ani. Autorul a avut în atenție exclusiv perioada ultimilor 35 000 ani din istoria geologică a Pămîntului. În afară de aceste cicluri și de cele ale lui *Milancović*, analiza depozitelor geologice cu faună și floră fosilă — elemente care stau la baza analizei reconstituirii condițiilor paleogeografice — a permis stabilirea unor cicluri climatice de mai mare anvergură, respectiv de circa 200 milioane de ani, așa cum reiese din curba generalizată de *R. W. Fairbridge* (citat după *H. Robinson*, 1970), (fig. 4).

În concluzie, fluctuațiile activității solare și o periodicitate în dinamica unor elemente ale orbitei terestre determină, în principal, ciclicitatea despre care am vorbit ; ceea ce impune, însă, localizarea ariilor cu climate diferite, deci și a domeniului înghețului veșnic, este variația cîmpului geomagnetic. Potrivit cercetărilor efectuate pînă acum, între activitatea solară, activitatea geomagnetică, presiunea atmosferică și temperatură există numeroase corelații. Dintre concluziile pe care le-au impus cerce-

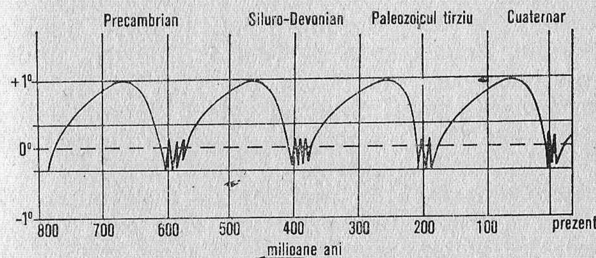


Fig. 4. Succesiunea în timp a celor mai importante perioade glaciare (după *R. W. Fairbridge*).

tătorii asupra acestor corelații, reținem următoarele :

— activitatea solară maximă determină o intensă perturbare a cîmpului geomagnetic ; maximul și minimul activității solare diferă ca timp de producere de maximul și minimul activității geomagnetice, înregistrîndu-se în aceste schimbări unele regularități ;

— minimelor de activitate geomagnetică le corespund temperaturi medii minime ;

— creșterea bruscă a activității geomagnetice este marcată de o relativă descreștere a presiunii atmosferice, ceea ce favorizează formarea unor centre ciclonale care tind să se deplaseze spre regiunea polilor geomagnetici ;

— în perioadele de persistență a activității geomagnetice reduse, clima cunoaște un accentuat grad de continentalizare, cu alte cuvinte devine mai secetoasă.

Pentru a ilustra importanța variației cîmpului geomagnetic, *V. Bucha* (1976) aduce în discuție următoarele exemple : distribuția actuală a temperaturii în emisfera nordică evidențiază două anomalii în timpul iernii, una în Oceanul Atlantic, între Groenlanda și Europa, unde temperaturile ating maximum de 26°, deasupra latitudinilor medii, și în Pacific, lîngă coasta de vest a Americii, unde se înregistrează un maximum de +13°C. În același timp, vara, în estul Siberiei este o anomalie negativă de —24°C și o anomalie negativă de maximum —15°C în estul Americii de Nord. Evident că diferențele sînt esențial marcate de distribuția oceanului și a uscatului. Important este însă că diferențele între temperaturi sînt de circa +13°C. Referindu-ne la ultima parte o Cuaternarului, în urmă cu 13—18 000 ani, cînd Scandinavia era acoperită

de gheață și temperatura în Europa era cu 10—15° mai mică decît astăzi, se observă că această diferență de circa +13° corespunde cu cea existentă în prezent între Atlantic și Pacific. Polii geografici nu s-au putut, practic, deplasa atît de mult, într-o perioadă atît de scurtă, pentru a se marca schimbări radicale în climă. De asemenea, o descreștere a activității solare este problematică, deoarece acum 15 000 de ani, în nord-estul Asiei temperaturile erau mai mari decît astăzi. Ceea ce, afirmă *V. Bucha* (1976), permite să se presupună că poziția polilor geomagnetici reprezintă cel mai important focar al generării considerabile a ciclurilor. În concluzie, regiunile de formare a permafrostului, a apariției fenomenului de îngheț veșnic, în general, s-au caracterizat printr-o îndelungă perioadă de scădere a activității geomagnetice, fapt ce a permis instalarea regimului temperaturilor joase.

Reiese clar, din aceste concluzii, că variația cîmpului geomagnetic constituie un factor foarte important în schimbările climatice ale globului. Cercetări ale paleomagnetismului terestru, coroborate cu datări de vîrstă absolută, au permis să se stabilească poziția pe care au avut-o Polii geomagnetici (deci zonele cu maxim de intensitate ciclonală) în diferite timpuri geologice. *V. Bucha* redă sugestiv deplasarea Polilor geomagnetici, deci a ariilor ciclonale, pentru ultimii 38 000 de ani (fig. 5).

Deci, principalele cauze ale schimbărilor climatice majore ale globului ar fi, în linii mari : activitatea solară, forma aproximativ sferică a Planetei, variația elementelor orbitei terestre și a axei sale, variația poziției Polilor geomagnetici. După cum observăm, sînt niște cauze aflate într-o strînsă corelație, fapt ce presupune o anume simultaneitate a fenomenului în regiunea celor doi Poli ai Pămîntu-

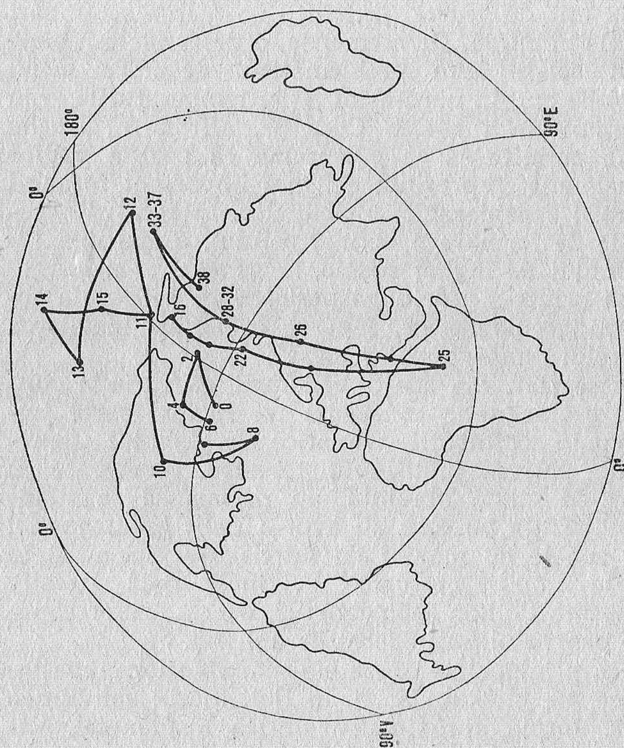


Fig. 5. Schimbarea poziției nordului geomagnetic în ultimii 38 000 ani (după V. *Bucha*, 1976).

lui. Lucrurile nu se petrec însă întocmai, întrucît o serie de fapte complică foarte mult descifrarea genezei marilor schimbări climatice și a apariției glaciațiilor. Se știe, de exemplu, că în emisfera sudică, respectiv în Antarctica, perioada glaciară s-a instalat cel puțin din Miocen (deci în urmă cu cel puțin 5—7 milioane de ani), (*M. J. Selby*, 1973), iar după alți cercetători, cu mult mai devreme, la granița între perioadele Eocen și Oligocen, adică în urmă cu cîteva zeci de milioane de ani (*J. Kennett*, 1977). Or, în emisfera nordică, fenomenul de glaciație s-a instalat cu mult mai tîrziu, cel mai devreme în urmă cu 2,5—3 milioane de ani. În schimb, în ultimul milion de ani s-a atins maximul glaciațiilor în ambele emisfere. Deci, pe de o parte, decalaj, ca timp, în apariția fenomenului în cele două emisfere, pe de altă parte, simultaneitatea înregistrării maximului de manifestare ; aceasta „complică", sau mai bine spus, impune anumite rezerve în ceea ce privește acceptarea în exclusivitate a unor cauze generale ca generatoare ale apariției schimbărilor climatice și înghețului veșnic. Fenomenul este extrem de complex și o mare majoritate a specialiștilor îl consideră, în mod justificat, neelucidat.

Recent, la Congresul Cuaternariștilor de la Birmingham (1977), *A. Horowitz* de la Universitatea din Tel Aviv consideră, pe baza existenței ciclurilor majore, de 200 milioane de ani, ale schimbărilor climatice, că principala cauză o constituie, de fapt, ciclurile orogenice, respectiv marile etape de transformare tectonică a scoarței, în legătură cu care au loc schimbări radicale între suprafețele ocupate de apă și uscat, în topografia fundului oceanului planetar (de care depinde, în mare măsură, regimul termic al apelor) și a suprafeței uscatului. Astfel,

în timpul cînd nota dominantă au dat-o mările puțin adînci, sau așa-numitele mări epicontinentale, climatul globului s-a caracterizat printr-o relativă uniformitate, pe fîșii latitudinale. Profesorul *Horowitz* consideră că, în timp, variația radiației solare, în raport cu curba lui *Milancović* s-a manifestat în tot cursul evoluției geologice a Pămîntului, or epocile glaciare au fost extrem de puține în acest timp îndelungat, în raport cu numărul foarte mare al ciclurilor climatice deduse din curba mai sus menționată. Firește, acesta este doar un punct de vedere, căci pînă în prezent cei mai mulți adepți îi are totuși ipoteza lui *Milancović*, reactualizată și îmbunătățită în urma cercetărilor din ultima vreme. La Colocviul de paleoclimatologie care a avut loc la Norwich, în Marea Britanie (august, 1975), cercetătorul *M. N. J. Shackleton* (citat de *H. H. Lamb*, 1976) comunică, pe baza analizelor izotopilor de oxigen dintr-o carotă de sedimente din zona ecuatorială a Pacificului, evidențierea, pentru ultimele două milioane de ani, a unui mare număr de glaciații, în timp ce analizele spectrale au identificat „perfect“ ciclurile lui *Milancović* (de 100 000, 40 000, 20—25 000 ani), ceea ce a readus în actualitate discuțiile asupra influenței variației caracteristicilor orbitei terestre în oscilațiile climatice. *H. H. Lamb* arată că prin asemenea analize s-au evidențiat resorturi mai nete ale teoriei, cum ar fi regularitatea alternanțelor unor epoci relativ calde și stabile ce corespund interglaciarelor, limitate la circa 10 000 ani (adică timpul scurs după sfîrșitul ultimei glaciații și pînă în timpul prezent).

Consecințele schimbărilor climatice favorabile apariției înghețului veșnic au fost deosebit de complexe. În primul rînd, prin înghețarea apei s-au scos din circuitul natural al hidrosferei volume imense de apă în stare lichidă și gazoasă, fenomen exprimat printr-o scădere generală a nivelului oceanelor și mărilor cu cel puțin 110—120 m față de nivelul actual. O astfel de scădere a nivelurilor mărilor și oceanelor a permis să se extindă foarte mult zonele cu permafrost. Cercetătorul *A. Veliciko* (1969) este de părere că înghețarea unor părți din apele oceanelor a determinat o extindere foarte mare a zonelor cu îngheț peren (mările și oceanele erau acoperite cu o platoșă de gheață pînă la aproximativ 42° latitudine nordică), ceea ce autorul numește parageneză a fenomenelor periglaciare. Dimpotrivă, în fazele de încălzire, apa din ghețarii continentali, din ghețari în general, a fost redată parțial circuitului atmosferic, mărilor și oceanelor, ceea ce a produs o creștere a nivelurilor mărilor și oceanelor cu o viteză care, în unele perioade, depășea 30 mm/an.

TIPURI DE ÎNGHEȚ VEȘNIC : GHEAȚA ÎN SOL... SAU DE LA „ACELE DE GHEAȚĂ“ LA ENIGMATICELE DISCURI DE GHEAȚĂ ALE URIAȘELOR „PINGO“

Într-un capitol precedent ne-am referit la trei tipuri de permafrost : continuu, discontinuu și submarin. Pentru a putea explica însă o serie de fenomene este necesar să menționăm și alte tipuri de permafrost și anume :

— *permafrostul uscat,* caracterizat printr-un conținut de gheață mai mic decît volumul porilor rocii supuse temperaturilor negative, fapt pentru care în timpul topirii gheții solul nu are un exces de umiditate ;

— *permafrostul singenetic,* format concomitent cu depunerea sedimentelor cuprinse de îngheț, fiind tipic pentru regiunile deltaice din zonele nordice ;

— *permafrostul epigenetic,* cel mai răspîndit, se formează după depunerea sedimentelor supuse înghețului ;

— *permafrostul stratificat* constituie o formațiune în care alternează strate înghețate cu strate de depozite neînghețate și se întîlnește foarte frecvent în limitele permafrostului discontinuu ;

— *permafrostul marginal* se dezvoltă la limita inferioară a regiunilor cu temperaturi negative, dar apropiate de 0°C și se menține cîțiva ani ;

— *permafrostul în echilibru* evoluează în condițiile în care există un echilibru între temperaturile negative de la suprafața solului sau fundului mării și fluxul caloric dinspre interiorul scoarței, ceea ce asigură menținerea lui :

— *permafrostul în dezechilibru* se caracterizează prin lipsa unui echilibru între regimul termic de la suprafața solului sau fundul oceanelor și fluxul caloric dinspre interiorul scoarței în sensul favorizării degradării permafrostului.

Acestea sînt doar cîteva tipuri a căror cunoaștere este semnificativă pentru descifrarea evoluției mediului natural din timpul perioadelor glaciațiilor cuaternare, care au constituit cele mai importante evenimente geologice din ultimul milion de ani.

Dacă prezența gheții în sol nu este considerată o determinantă în definirea permafrostului, un lucru este cert : o astfel de prezență constituie una dintre caracteristicile de bază ale acestui domeniu al temperaturilor negative.

Cea mai mare parte a gheții se află în partea superioară a permafrostului. *T. L. Péwé* apreciază că circa 10% din volumul total al gheții de pe glob se află în primii 3 m din sol. Cea mai răspîndită formă de gheață este așa-numita gheață de segregație, care reprezintă circa 75% din gheața în sol și din care circa 60% se află în primii 0,5—2 m adîncime de la suprafața solului. Un alt cercetător, sovieticul *A. Veliciko* a apreciat, de exemplu, că, în ultima perioadă glaciară, în Cîmpia Rusă era o deasă rețea de filoane de gheață lungi de 20—40 m cu o

pătrundere în sol, în medie, pe circa 4—6 m și cu o grosime (la partea superioară) de 1,5 m pînă la 3 m ; aceasta reprezintă un volum de gheață de circa 3000—5000 m³/ha.

Din cifrele arătate deducem faptul că gheața constituie o componentă esențială a permafrostului și că are o deosebită importanță în evoluția unor fenomene geologice și geomorfologice.

Formele și tipurile de gheață în sol sînt foarte variate, în funcție de regimul de umiditate, de vegetație, de granulometria și stratificația depozitelor supuse înghețului, de modul de repartiție în sol. În ansamblu se disting două tipuri principale : *gheață epigenetică* (formată după depunerea sedimentelor în care este înglobată) și *singenetică* (formată concomitent **cu depunerea** sedimentelor). Necesitatea de a lua în considerație o gamă largă de caracteristici ale prezenței gheții în sol a impus însă o clasificare care are și o valoare practică (*R. Mackay*, 1972 și pe care o redăm în fig. 6).

Autorul acestei clasificări ia în considerație, pe de o parte, originea apei înainte de îngheț, respectiv locul de proveniență al acesteia, apoi procesele de transfer de la stadiul lichid la cel solid și, în sfîrșit, formele de gheață din sol cu subtipurile principale.

Pentru o lucrare de mai mică întindere ca cea de față, nu ne propunem să intrăm în detaliile acestei figuri. Reținem doar că unele dintre cele mai importante efecte ale gheții în sol se reflectă asupra morfologiei terenului, dintre care interesează cel puțin trei categorii : pene de gheață (incluzînd vine de gheață, pene de gheață și gheață de crăpături tensionale) adică tipurile 2, 3, 4 din tabloul lui *R. Mackay* ; *gheață de segregație* (care include gheața epigenetică și gheața de agradare) și *gheața*

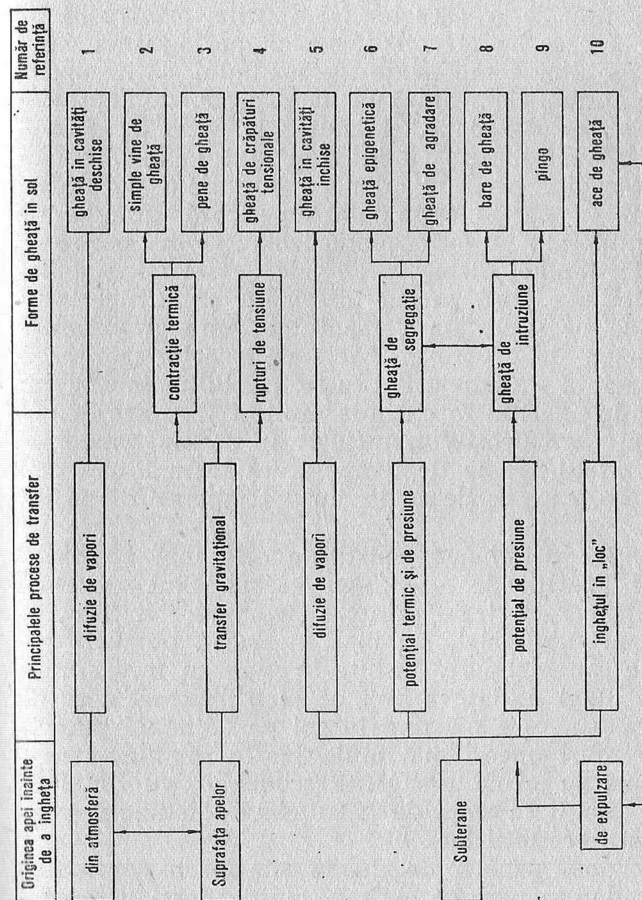


Fig. 6. Sistematica tipurilor de gheață în sol (după *R. Mackay*, 1972).

de intruziune (în care se includ barele de gheață și *pingo*).

Înainte de a caracteriza tipurile principale de gheață care au efect evident în morfogeneză ca și asupra altor componente ale mediului, să ne oprim la o formă elementară ce face parte, de fapt, din gheața de segregație, și anume la acele de gheață. Sînt niște colonete cu lungimi pînă la 5—7 cm ce se dezvoltă perpendicular pe suprafața de îngheț și au, în partea terminală superioară, granule de sol mineral ; nu se dezvoltă izolat, ci în „pachete", iar la dezgheț dispar, granulele de sol mineral deplasîndu-se spre partea inferioară a poziției inițiale de pe suprafața versantului ; este așa-numitul fenomen de *pipkrake*. Acele de gheață apar ca o consecință a înghețării bruște a solului umezit, iar aria de apariție se extinde mult și în afara domeniului permafrostului, inclusiv în zonele temperate cu variații bruște de temperatură toamna sau primăvara, care oscilează în jurul temperaturii de îngheț.

Penele de gheață constituie cele mai spectaculoase apariții de acest gen în sol. Sînt mase de gheață caracterizate printr-o structură foliată paralel sau subparalel, cel mai adesea în planuri verticale sau înclinate. Văzute în plan au forma unor bare lungi de cîteva zeci de metri, uneori doar de cîțiva cm, care pătrund în sol pe adîncimi pînă la 4—6 m și uneori mai mult, iar în secțiune transversală au forma unor pene (trunchiuri cu vîrful cel mai ascuțit în zona de pătrundere și adîncire continuă a creșterii lor).

Originea penelor de gheață este foarte controversată, dar se pare că cei mai mulți adepți îi are teoria contracției termice. Pe scurt, potrivit acestei teorii procesul se desfășoară astfel : în zona perma

frostului, în iernile reci cînd și stratul activ îngheață, datorită contracției provocate de ger se formează fisuri (crăpături) (fig. 7) cu lărgimi pînă la 2—3 cm și pe o adîncime, de asemenea, nu prea mare, de cîțiva cm ; sînt crăpături de tensiune. În timpul dezghețului stratului activ, aceste crăpături în permafrost sînt umplute cu apă, care la ivirea gerului îngheață, iar solul înghețat, contractat, nu mai revine la loc, spațiul respectiv fiind ocupat de gheață. Mai mult, iarna următoare se reînnoiește tensiunea provocată de îngheț, crăpăturile din iarna precedentă se „redeschid" și se creează astfel condiții pentru mărirea volumului „vînei" de gheață ce a umplut crăpătura primară, căci la noul dezgheț al mollisolului[4] se adaugă apă în crăpătura deja mărită datorită forțelor tensionale ale contracției ; procesul continuă atîta timp cît permafrostul este în echilibru. Cînd permafrostul intră în dezechilibru, respectiv cînd începe degradarea lui, gheața se topește și crăpătura este umplută cu material mineral. Dar nu întotdeauna forma de „pană" imprimată de dezvoltarea gheții se conservă căci, din cauza topirii gheții din permafrost, depozitele în care s-a format crăpătura se deformează, încît aspectul general al umplerii penelor este cel al unor pungi, numite și „pungi periglaciare" ; cele mai tipice pungi periglaciare care au la origine penele de gheață au formă de molar. Am făcut această precizare deoarece pungi periglaciare pot apărea și în alte condiții, cunoscîndu-se pînă acum cel puțin 17 tipuri de așa-zise „buzunare periglaciare", de a căror sistematică și morfologie însă nu ne-am propus să ne ocupăm aici.

[4] Strat de sol situat deasupra permafrostului, care se dezgheață vara, devenind plastic și reîngheață iarna.

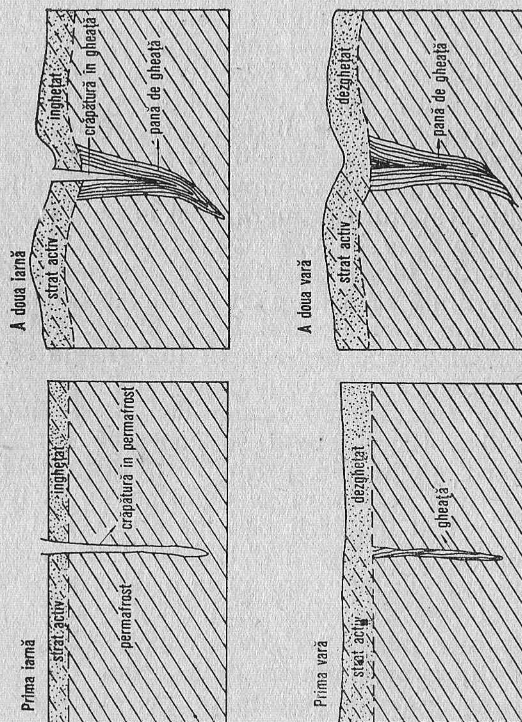


Fig. 7. Reprezentarea schematică a formării penelor de gheață (după *T. L. Péwé, Church, Anderson*).

Revenind la penele de gheață, atragem atenția că ele presupun un climat extrem de riguros, întrucît s-a dovedit, de exemplu, că o contracție a permafrostului se face la răciri de —15°C, —20°C. Și încă un fapt : prezența penelor de gheață indică un climat cu temperaturi medii anuale de cel puțin —5°C, iar după unii, de —8°C. În asemenea condiții s-a constatat că ritmul anual de creștere (în diametru) a penelor de gheață variază între 0,5—1 mm pe an. Este un ritm constatat pe baza studiilor fenomenelor actuale, dar care permite să se deducă vîrsta unor pene de gheață relicte (se presupune că în nordul Canadei sînt pene de gheață de circa 4000—5000 de ani), să se aprecieze durata de existență a permafrostului în regiuni care astăzi au ieșit în afara acestei zone.

Penele de gheață nu apar izolat. De regulă se formează rețele de „poligoane“ cu diametrul de la cîțiva cm (cînd dimensiunile penelor sînt mici) la cîțiva zeci de metri (fig. 8) ; în Canada, Alaska și Iakuția s-au întîlnit poligoane cu diametrul de peste 40 m. De fapt, aceste poligoane sînt niște suprafețe

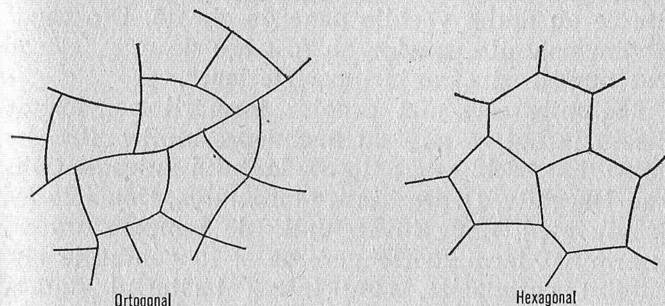


Fig. 8. Două dintre cele mai frecvente tipuri de rețea de pene de gheață (poligoane).

de teren separate de filoane de gheață ce mulează crăpăturile de ger în sol (respectiv penele de gheață). Terenurile pe care se formează sînt alcătuite, în general, din depozite slab consolidate și au o înclinare generală sub 7°. Pentru că pe direcția filoanelor (penelor) de gheață există un exces de umiditate, în anumite condiții microclimatice apar arbori care se înrădăcinează numai pe aceste direcții. Situația este favorabilă depistării unor structuri cu ajutorul fotogramelor.

La noi în țară, în condițiile ultimei glaciații din Cuaternar, s-au format pene periglaciare care au avut la origine așa-numitele pene de gheață. Ele nu au avut amploarea din regiunile nordice actuale, dar au ajuns la grosimi de 50—60 cm și adîncimi de peste 1 m. O rețea foarte deasă de pene de gheață a fost în partea de sud și sud-est a țării, rețea dedusă din depozitele de umplutură ale unor asemenea pene ce s-au format în baza ultimului strat de loess. Au fost însă și pene cu diametrul de cîțiva centimetri. Pentru cine merge la țărmul Mării Negre, în zona de la Costinești, poate vedea în faleză o rețea de micropoligoane formată din depozite ce au mulat vechile pene de gheață. Din cauză că dimensiunile penelor au fost așa de mici, ele au fost numite și „franjuri periglaciare".

Regiunile cele mai propice formării penelor de gheață la noi în țară au fost depresiunile intracarpatice (îndeosebi cele datorate lanțului vulcanic Căliman-Harghita, Depresiunea Maramureș, Depresiunea Brașov etc.), unde inversiunile de temperatură au determinat ierni foarte geroase și în condițiile climatului periglaciar, cînd întreg teritoriul României era inclus în arealul izotermelor anuale negative.

Gheața de segregație este tipul cu cea mai largă arie de răspîndire. Se formează prin migrarea apei libere în pori și pe planurile de îngheț, unde se dispune în „strate discrete" ce se adaugă de la un an la altul acumulînd grosimi care uneori depășesc 10 m. Nu este o gheață pură, ci se întrepătrunde cu strate minerale. De regulă alternează strate de gheață cu strate de sol, iar în anumite condiții se formează lentile de gheață cu dimensiuni mai mari (de la cîțiva centimetri la aproape 1 m, iar după unii cercetători mai mult, dar cu acest fenomen de îngroșare se intră în domeniul altui tip de gheață).

Opiniile cu privire la formarea gheții de segregație sînt diferite, iar în ultimul timp se impune cea exprimată de profesorul *André Pissart* de la Universitatea din Liège, care arată că ea se formează și la limita inferioară a solului supus sezonier îngheț-dezghețului, precum și la limita superioară a permafrostului. Condițiile de formare a acestui tip de gheață sînt : existența apei în sol ; înghețul lent și depozitele cu granulometrie fină.

Cele mai importante procese de „deformare" a suprafeței terenului sub influența gheții, precum și unele deformări ale depozitelor au drept cauză principală evoluția acestui tip de gheață.

Adesea, în numeroase deschideri din terenurile care au fost supuse înghețului din zona permafrostului, dar care astăzi nu se mai află în astfel de condiții, pot fi identificate deformări tipice ale depozitelor, ce descriu linii curbe ale traseului liniilor de stratificații. Acestea sînt denumite „involuții" și se formează în procesul genezei gheții de segregație, ca efect al presiunii stratului de gheață la partea superioară a mollisolului și a permafrostului. Procesul are loc astfel : în condițiile unui mollisol cu exces de umezeală, înghețul

lent imprimă o presiune spre masa depozitelor încă neînghețate, dar aflate într-o stare de vîscozitate, ce permite deplasarea particulelor și orientarea lor spre zonele cu presiune mai mică ; pe de altă parte, migrarea particulelor spre baza stratului activ (al mollisolului) este limitată de presiunea pe care o exercită partea superioară a permafrostului ; se formează un fel de „curent“ de mișcare a particulelor, care, din cauza inegalității presiunilor la care este supus, urmează o deplasare mai mult sau mai puțin sinusoidală. Apar astfel involuții, care în raport cu stadiul de evoluție ne pot da imaginea condițiilor geotermice ale solului. Spre exemplu, involuțiile sub formă de coloane sau falduri indică cel mai riguros climat periglaciar.

În afară de procesele de formare a involuțiilor mai sînt și numeroase alte procese care au la origine fenomenele proprii formării gheții de segregație. Dintre acestea vom menționa procesul de *frost-heaving* în care domină mișcarea pe verticală a particulelor minerale supuse presiunii criostatice, cum mai este denumită presiunea generată de îngheț ; deplasarea se face fie pe planuri de îngheț, determinate de migrarea apei, fie pe planuri create de diferențierea de densitate a materialelor supuse înghețului. În general, se evidențiază bine cînd fragmentele de rocă de dimensiuni mai mari sînt prinse într-o matrice fină. Aceasta permite o mai ușoară deplasare a fragmentelor grosiere, care pot atinge dimensiunile unor bolovani, și o redresare a lor cu axa mare pe verticală. Măsurători ale vitezei mișcării fragmentelor de rocă supuse fenomenului de *frost-heaving* au arătat o valoare cuprinsă între 1,5—5,8 mm/an la o adîncime de 20 cm față de suprafața solului, în domeniul umed, și 0,8—1,4 mm/an în domeniul mai mult sau mai puțin us-

cat, la aceeași adîncime. Acest fenomen constituie explicația a numeroase cazuri de „scoatere“ din sol a unor piloni de poduri construite în zonele permafrostului. În acest sens a devenit tipic un exemplu propus de *T. L. Péwé* (1951) cu privire la „împingerea“ spre suprafața solului a pilonilor de la capetele unui pod peste un mic rîu din Alaska (fig. 9).

A. Pissart a simulat în laborator dezvoltarea presiunii datorită înghețului și a stabilit unele corelații cu variația temperaturii, constatînd, printre altele, că presiunea poate fi generată nu numai în timpul proceselor de îngheț, dar și cînd temperatura crește și se apropie de 0°C. Aceasta are mare importanță pentru evoluția fenomenelor din stratul activ care este supus unor apreciabile fluctuații termice.

Gheața de intruzie se formează prin pătrunderea sau injectarea apei sub presiune în porii depozitelor sau între stratele geologice. În acest fel apar corpuri de gheață sub formă de bare. Cele mai spectaculoase sînt însă niște imense „discuri“ de gheață numite *pingo*, ceea ce în limba eschimoșilor înseamnă formă conică, în mod obișnuit, movile mai mult sau mai puțin asimetrice, cu o bază de formă circulară sau ovală, cu partea superioară fisurată,

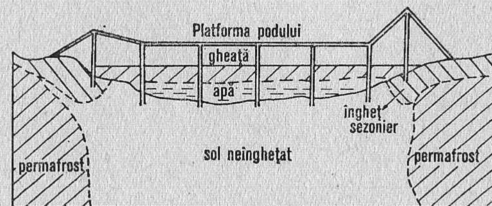


Fig. 9. Deteriorarea unui pod din zona permafrostului, ca efect al fenomenului de *frost-heaving* (după *T.L. Péwé*, 1951).

cu diametrul de mai multe sute de metri și înălțimea ce ajunge la 50—60 m, uneori chiar mai mult. Din punctul de vedere al genezei se deosebesc două forme de pingo : în *sistem închis* (în regiuni cu exces de umiditate, slab drenate, din zona permafrostului) și în *sistem deschis* (își au originea în înghețarea apelor freatice aflate sub presiune sau a apelor libere care pătrund în sol și circulă în strate neînghețate spre baza versanților). Topirea acestor corpuri de gheață aflate în sol duce la schimbarea formei pozitive de teren într-o depresiune mărginită de un „val“ de pămînt care a rezultat, la rîndul lui, din deplasarea continuă, spre periferie, a solului, pe măsura creșterii corpului de gheață (acesta ridicîndu-se deasupra suprafeței solului, determină o alunecare lentă a depozitelor spre periferie) (fig. 10). Unele dintre formele de *pingo* prezente au o vechime de cel puțin 25 000 ani, iar fenomenul are o maximă răspîndire în ariile de întrepătrundere a permafrostului continuu cu cel discontinuu (în Canada și Alaska s-au inventariat aproape 1 500 *pingo*).

În ultimul timp, mulți cercetători consideră că gheața de segregație joacă, cel puțin în prima fază, un rol important în geneza fenomenului de *pingo*.

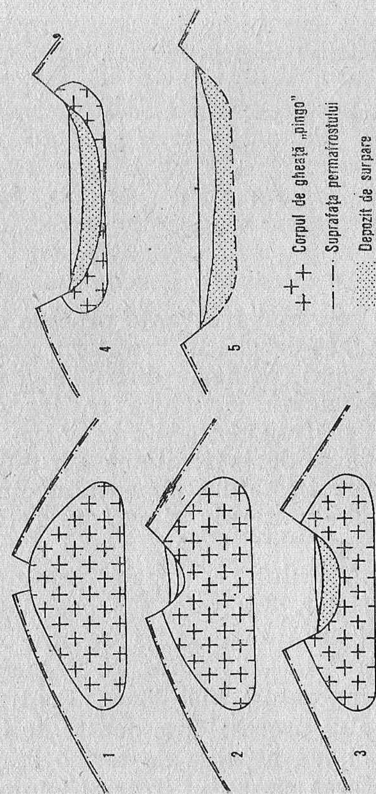


Fig. 10. Degradarea unui „pingo“ (după *E. Watson*, 1977).

ÎNGHEȚUL, ZĂPADA ACTIVĂ ȘI VÎNTUL; CÎMPURILE DE BLOCURI ȘI RÎURILE DE PIETRE

Unul dintre cele mai frecvente procese din aceste areale este îngheț-dezghețul rocilor, proces care duce la dezagregări, adică la distrugerea rețelei de minerale ce formează structura rocilor compacte, transformînd-o în fragmente din ce în ce mai mici. Aceasta depinde și de intensitatea gerului, precum și de structura rocii, natura cimentului etc. De obicei, rocile masive puternic cimentate reflectă mai bine acest proces.

În timpul înghețului se degajă presiuni foarte mari asupra rocilor. Teoretic, s-a calculat că prin înghețarea apei se ajunge la o presiune de maximum 2100 kg/cm², la —22°C (*M. H. French*, 1976) și descrește la temperaturi mai joase. Pentru a înțelege însă dinamica proceselor generate de îngheț, să ne referim la cîteva aspecte de termocinetică, respectiv la deplasarea *cîmpului izoterm* (cîmp de temperaturi egale) în sol sau în diferite materiale, problema avînd implicații profunde și în practica construcțiilor de betoane, mai ales a comportării acestor construcții în condiții de îngheț-dezgheț.

Reamintim că transmisia căldurii se face prin conducție, prin radiație și prin convecție. Într-un corp solid elastic, cum este considerat solul înghețat, transferul de căldură se face prin conducție. Coborîrea temperaturii provoacă o contracție, iar ridicarea temperaturii o gonflare. Repetarea acestor procese duce la distrugerea rețelei în care sînt dispuse mineralele ce alcătuiesc roca. Întotdeauna conducția are tendința de a duce la egalizarea temperaturilor dintr-un corp, fenomen, practic, nerealizabil. De aceea, în diferite părți ale solului sînt temperaturi diferite. Prin urmare se menține o „curgere“ continuă de căldură de la zonele calde spre cele reci. Toate punctele dintr-un corp care, la un moment dat au aceeași temperatură, se găsesc într-un plan numit suprafață izotermă. Cînd această suprafață evoluează, este numită suprafață tranzitorie, cînd staționează se spune că se află în regim permanent. Astfel de stări se creează îndeosebi cînd solul este învelit cu un strat gros de zăpadă sau cînd starea de regim permanent are loc de la o anumită adîncime, de unde influența variațiilor de temperatură dinspre suprafața solului este foarte redusă. În cazul regimului permanent, gradientul termic este rectiliniu și simetric în raport cu un plan orizontal median (plan neutru) al corpului supus fluxului caloric, și nu au loc flexurări sau fisurații orizontale în masa corpului. Dimpotrivă, cînd solul se află în regim termic tranzitoriu, gradientul termic devine disimetric în raport cu planul median și în sol apare un cuplu de flexiune care curbează stratele și produce fisurații. Cu cît variațiile termice de la suprafața solului sînt mai puternice, regimul termic tranzitoriu are o dinamică mai accentuată și efectul de distrugere asupra rocilor este mai mare. Dar mai trebuie reținut un aspect și

anume : la un moment dat, la suprafața solului, pe anumite spații, temperatura este relativ uniformă ; atunci fluxul caloric este unidimensional, în sens vertical, pe toate planurile, caz în care prin folosirea unor ecuații de distribuție a temperaturilor în sol se poate identifica rețeaua de fisurație pe orizontală. *H. Bertouille* (1973), ocupîndu-se de studiul termodinamicii solurilor înghețate sau supuse îngheț-dezghețului, a stabilit o serie de ecuații și reprezentări grafice pe baza cărora se pot aprecia fisurațiile termo-mecanice, conductibilitatea termică, variația gradientului termic ce poate provoca rupturi în roci. De asemenea, se calculează indicii de rigurozitate a iernilor.

Dinamica cîmpului termic are consecințe directe în evoluția stării de presiune în care se află solul sau rocile înghețate, în general. De obicei, schimbările bruște de temperatură ale regimului tranzitoriu, în condițiile cîmpului termic negativ, provoacă o înghețare a apei din pori sau aflată pe suprafețe de strat. Aceasta duce la o dilatare a rocii ; bulele de aer din gheață, ca și spațiile porilor rocii, contribuie, într-un fel, la reducerea presiunii, încît valorile teoretic calculate (de maximum 2100 kg/cm^2) nu se realizează. Savantul francez *J. Tricart* (1970) a estimat valori ale presiunii pînă la 100 kg/cm^2, destul de importante însă pentru a produce dezagregarea rocilor compacte.

În desfășurarea acestui proces de dezagregare intervin și alți factori, cum ar fi : prezența umezelei, natura rocilor (alcătuire mineralogică, tipul cimentului, prezența stratificațiilor etc.), mărimea și durata ciclurilor gelive etc. Referitor la mărimea ciclurilor gelive, respectiv ciclurile de îngheț-dezgheț, s-au diferențiat două cicluri „etalon", funcție de care se apreciază intensitatea gelifracției (procesul de dezagregare a rocilor sub influența regimului îngheț-dezghețului) și anume : ciclul de tip insular, cu o durată de aproximativ 24 ore și o diferență de temperatură între +7° și —8°C și ciclul siberian, cu o durată de circa trei zile și salturi de temperatură între +15° și —30°C. Acestea sînt tipurile principale, dar în raport cu condițiile climatice, chiar în arealul permafrostului se diferențiază o largă gamă de cicluri gelive.

Procesul complex de acțiune a îngheț-dezghețului în dezagregarea rocilor se numește *gelifracție*, iar materialele de dezagregare rezultate prin acțiunea acestui proces se numesc *gelifracte*. În masivele muntoase care au fost sau sînt în zona de îngheț veșnic, astfel de formațiuni ocupă întinse suprafețe de versanți și formează așa-numitele „cîmpuri de blocuri", iar pe pantele abrupte, adevărate curgeri de pietre, de unde denumirea de „rîuri de pietre". Mișcarea acestor rîuri de pietre sau cîmpuri de blocuri se face încet : „piatră cu piatră" și deplasare lentă a întregului cîmp, ceea ce reprezintă un fenomen specific denumit *rock-creep* (spre deosebire de mișcarea înceată a solului pe care specialiștii o numesc *soil-creep*) ; alteori, mișcarea se face violent, prin rostogolire, dar tot „piatră cu piatră", în baza versanților construindu-se *conuri de grohotișuri* sau *trene* continui de astfel de conuri denumite *taluzuri*. În Carpații românești, în aproape toate masivele înalte, găsim mărturia unor asemenea procese, iar mai sus de 2000 m altitudine absolută ele au loc și astăzi cu o intensitate destul de accentuată.

De regulă, acțiunea dezagregării este mai intensă pe versanții cu o înclinare mare, deoarece gelifractele sînt ușor antrenate în mișcare prin procesele

de versant (rostogoliri, *creep* etc.) și expun permanent roca la gelifracție.

Dezagregarea, pe de o parte, degajarea versanților de gelifracție pe de altă parte, evidențiază anumite ruperi de pante ale versanților, ceea ce constituie elemente de plecare în formarea și evoluția unor abrupturi. Firește că acest complex de procese acționează pe toți versanții unui masiv muntos aflat în aria temperaturilor ce favorizează gelifracția ; intensitatea depinde însă de expoziția pe care o are fiecare versant, pe cei însoriți ciclurile gelive (ca amplitudine) fiind mai mari. Fenomenul geomorfologic cel mai important determinat de aceste procese îl constituie „retragerea" versanților (în sensul deplasării abrupturilor spre partea superioară a versanților) pînă la intersecția versanților opuși ai unei culmi muntoase, situație cînd culmea ia pentru început aspectul unei creste ascuțite, stîncoase, apoi se transformă într-un aliniament de înălțimi izolate cu aspect de relief ruiniform (turnuri, stînci bizare, stînci de tip „babe", asemenea celor din Bucegi etc.). Intervenția acțiunii vîntului și a altor procese (acțiunea zăpezii, rostogolirile, acțiunea gheții etc.) duce la detașarea unor martori din creste, pe fondul unor suprafețe cu o înclinare mică, sub 7—8°, denumite de specialiști *suprafețe de crioplanație* (termenul de crioplanație are aici sensul de nivelare a reliefului sub acțiunea gerului, în general a îngheț-dezghețului). În Masivul Călimani, în locul denumit „12 Apostoli", ca și în Munții Rodnei sau Retezat, se găsesc întinse suprafețe de crioplanație ; ele sînt îngropate în prezent într-o groasă cuvertură de gelifracte. Pe versanți, retragerea unor abrupturi dă naștere, datorită îngheț-dezghețului, unor suprafețe cu înclinări mici (cîteva grade) limitate spre amunte de abrupturi ; acestea se numesc *terase de crioplanație* și au tendința de a se deplasa spre partea superioară a versanților pînă la atingerea stadiului de suprafețe de crioplanație. Stadiul formării unor terase tipice se atinge după perioade îndelungi de gelifracție, ceea ce este tipic unor regiuni cu temperaturi medii anuale sub —4°, —5°C. De aceea, cel mai adesea întîlnim numeroase „ziduri" de piatră, stînci izolate pe versanți (denumite *tor*), întinse cuverturi de grohotișuri și blocuri. În Carpații românești sînt numeroase situații de astfel de terase și le întîlnim la altitudini mai mari de 1000—1200 m. Prezența lor, chiar atunci cînd nu au atins stadiul final de evoluție, are o semnificație climatică interesantă, în sensul că, după unii specialiști *(T. L. Péwé)*, ele se formează la limita inferioară a zăpezilor perene, adică a zăpezilor ce dăinuie de la un an la altul.

Cercetări efectuate în diferite părți ale globului asupra retragerii abrupturilor de gelifracție arată un ritm de distrugere de pînă la 0,7—1 mm/an, iar valoarea medie se estimează la 0,3—0,6 mm/an. În ceea ce privește masa de depozite ce rezultă prin gelifracție, în unele condiții de prezență a gheții, se produce o deplasare „în masă" asemenea deplasării ghețarilor ; se formează mari lobi de grohotișuri sau „arcuri de grohotișuri" în baza versanților abrupți, fenomen ce poartă denumirea de „ghețari de pietre" sau „ghețari negri". Prezența unor astfel de procese denotă o puternică insolație și mari variații zilnice ale temperaturii, dar în același timp o redusă cantitate de precipitații, încît ritmul dezagregărilor este foarte intens în comparație cu viteza de formare a ghețarilor. Credem că numeroase văi din Carpați care au fost ocupate cu ghețari propriu-ziși, în faza de stingere a glaciației au trecut printr-un stadiu de dezvoltare a ghețarilor de pie-

tre sau ghețarilor negri. Văile din zonele înalte ale munților Retezat, Godeanu sau Rodnei sînt exemple tipice în acest sens.

Nivația constituie un proces complex caracteristic zonelor cu îngheț veșnic și, îndeosebi, ariilor montane și are loc ca o „acțiune totală", cum spun specialiștii, de la eroziunea mecanică, la cea chimică, apoi la transport și acumulare, toate cu efecte foarte importante în morfologia terenurilor ; de asemenea, zăpada participă ca un corolar la desfășurarea altor procese.

Unele dintre cele mai importante procese geomorfologice pe care le realizează zăpada sînt acțiunea „de conducere" a formării abrupturilor de gelifracție și acțiunea de transport prin avalanșe. În baza abrupturilor se acumulează întotdeauna zăpadă mai multă și se menține mai mult timp ; aceasta, prin înghețare, se comportă ca o suprafață de gheață veritabilă ce înlesnește lunecarea gelifractelor care se desprind din abrupt ca urmare a variațiilor de temperatură ; gelifractele se acumulează la prima schimbare de pantă unde covorul de zăpadă este discontinuu, și formează un „val" de depozite, asemenea unor morene glaciare. Suprafața aflată sub zăpadă rămîne practic neutră din punct de vedere al dinamicii și între abruptul de gelifracție și acumularea de grohotișuri se formează o excavație asimetrică (versantul dinspre abrupt este mai lung), constituind o formă numită *nișă de nivație* (fig. 11). Prin procesul de formare a nișelor de nivație se evidențiază cel mai bine acțiunea de conducere a forării abrupturilor. Grohotișul ia forma unor adevărate arcuri de cerc, care, văzute în plan, se aseamănă cu niște potcoave, ceea ce l-a făcut pe *Gh. Niculescu* să le numească : *potcoave nivale*. Într-o fază avansată de evoluție a acumulărilor de

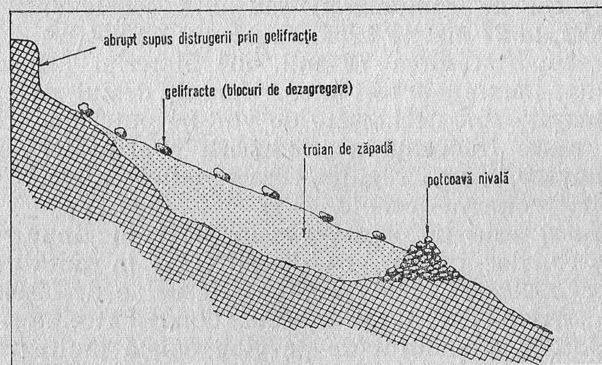


Fig. 11. Nișă nivală.

grohotiș și de stagnare multianuală a zăpezii, are loc și o deplasare a masei depozitelor sub efectul mișcării zăpezii prin așa-numitul fenomen de deplasare lentă sau *snow-creep*.

Acțiunea de transport a zăpezii este cel mai bine reliefată de *avalanșe*. Acestea sînt procese mecanice care apar pe versanții înzăpeziți, de regulă la obîrșia unor torenți unde s-au acumulat importante cantități de zăpadă. De altfel, ca și torenții, au o zonă de alimentare sau de plecare (un bazin de recepție), apoi un culoar central de deplasare și o zonă de debușare sau de împrăștiere. Condițiile favorabile de formare sînt : un strat gros de zăpadă pe marginea superioară a unui abrupt, un plan de alunecare pe o crustă înghețată de zăpadă din perioade anterioare, uneori îmbibarea cu apă și creșterea greutății zăpezii, producînd dezechilibru după o ploaie puternică sau o topire.

Volumul de zăpadă pus în mișcare poate fi enorm, din care cauză are efecte dezastruoase pentru pă-

duri, căi de comunicații sau alte construcții. În Alaska, la 27 martie 1964 s-a produs o avalanșă care a transportat circa 78 mil. m^3 material (zăpadă, gheață, pămînt, arbori etc.). Uneori, destul de rar, avalanșele sînt declanșate de vînturi puternice. Cea mai mare frecvență a producerii avalanșelor este primăvara, iar ca regiuni caracteristice sînt cele cu climat temperat-oceanic.

Vîntul este un agent cvasiprezent în ținuturile „deșerturilor toride", ca de altfel și în ținuturile „deșerturilor reci". Între procesele ce se desfășoară prin acțiunea vîntului în cele două extreme ale condițiilor climatului de pe glob există multe trăsături comune dar și deosebiri fundamentale. În cazul deșerturilor toride, eolizația (procesul de modelare a reliefului prin acțiunea vîntului) este prezentă, în primul rînd, prin formarea unor vaste reliefuri de dune, cu o mare mobilitate în spațiu, reliefuri de pietre eolizate (polizate) ; în cazul deșerturilor reci, eolizația se impune, în primul rînd, prin polizarea rocilor, formarea reliefului ruiniform (stînci bizare), depuneri de loess, formarea de dune — care nu au atins niciodată spațiile de extindere din regiunile deșerturilor fierbinți — și a altor forme de relief. De asemenea, în cazul deșerturilor reci acțiunea vîntului se conjugă cu acțiunea zăpezii, a dezagregărilor și a altor procese. Ceea ce favorizează o intensă activitate a vîntului este lipsa unui covor de vegetație consistentă, o foarte redusă cantitate de precipitații și, evident, o viteză mare a vînturilor. În ordinea importanței, dacă așa ceva este posibil de stabilit cu exactitate, eolizația se impune în modelarea reliefului de creste și stînci izolate. În acest sens, vîntul acționează ca un proces complimentar al dezagregărilor și nivației, contribuind la degajarea versanților de depozitele ce re-

zultă din procesele de gelifracție. Din cauza vitezei mari pe care o au și a transportului aerian de depozite în imediata apropiere a suprafeței solului, vînturile au o puternică acțiune de distrugere asupra rocilor consolidate, dînd naștere la forme bizare : reliefuri de turnuri, stînci suspendate, stînci de diferite forme, stînci cu excavații de tipul marmitelor (stînci tafonate) și o întreagă gamă de pietre polizate.

În general, stîncile supuse acțiunii de eolizație alcătuiesc o grupare distinctă de microrelief în ansamblul morfologiei periglaciare și se numesc eologliptolite, termen introdus de renumitul savant polonez *J. Dylik*.

În tipologia stîncilor modelate de vînt, în general a formelor de coraziune (acțiunea de eroziune prin forța vîntului), există o mare varietate. Cercetătorul sovietic *Karlov* (1969), ocupîndu-se în mod special de sistematica eologliptolitelor, distinge nu mai puțin de 18 tipuri, fiecare avînd o semnificație climatică bine precizată și reflectînd, de asemenea, alcătuirea litologică a stîncilor eolizate.

În România pot fi incluse în această categorie de morfologie periglaciară aproape toate stîncile „bizare" de tipul „babelor" și „sfinxului" din Bucegi, stînci care, mai mult sau mai puțin asemănătoare, le găsim în masivele conglomeratice Ceahlău și Ciucaș, dar și în masivele vulcanice : Căliman, Gurghiu, Harghita, Igniș etc. În zonele alpine înalte (Munții Rodnei, Făgăraș, Retezat, Godeanu, Parîng etc.) există o mare varietate de stînci aflate în diferite faze de modelare eoliană, care alcătuiesc un peisaj aparte. Oricine a luat contact cu aceste minunate priveliști ale munților noștri își poate da seama de măiestria neîntrecută a acestui „nevăzut"

sculptor al naturii care este vîntul. Nu de puține ori înfățișarea ciudată a stîncilor eolizate, aducînd a chipuri de oameni sau diferite animale, i-a făcut pe unii să considere că ele sînt mărturii ale unor civilizații de mult apuse.

Ca și în deșerturile toride, procesul de acumulare eoliană este foarte important, deși, cum am spus, nu vom întîlni acele nesfîrșite cîmpuri de dune, acele nesfîrșite nisipuri mișcătoare. În liniștea înghețului veșnic, vîntul a construit cele mai importante forme de acumulare în lungul țărmurilor marine și a marilor rîuri, în ale căror șesuri erau nisipuri. Dar dunele formate în condițiile înghețului veșnic au o evoluție diferită de a celor ce se formează în deșerturile toride. Prezența zăpezii și a gerului în anumite intervale duce la formarea pe suprafața dunelor a unor cruste dure, rezistente la eroziune ; aceasta schimbă ritmul acumulărilor făcînd chiar posibilă instalarea unui regim de „fixare" a dunelor prin îngheț și formare a penelor de gheață, care contribuie la mărirea gradului de stabilitate. Se formează așa-numitele pavaje nivoeoliene, caracterizate printr-o succesiune ritmică de nisipuri, de la cele grosiere la cele fine. În vecinătatea principalelor rîuri sînt foarte frecvente astfel de formațiuni. Cît privește relieful de dune, facem remarca situației de pe întinsul cîmpiei germano-polone, care în timpul ultimei glaciații a constituit la bordura ghețarilor unul dintre cele mai importante cîmpuri de dune ; la fel în Cîmpia Dunării mijlocii. Dar unul dintre cele mai elocvente exemple privind acțiunea vîntului în procesele de acumulare cu formare de dune îl constituie prezența acestora în Antarctica. Cercetătorii neozeelandezi *Selby, Rains* și *Palmer* (1974), care au studiat dunele din partea de sud a teritoriului numit Victoria (unde viteza medie a vîntului este peste 10 m/s) au constatat că se întîlnesc aproape toate tipurile de dune ce pot fi identificate și în deșerturile toride, cu mențiunea că sînt mult mai mici : au înălțimi pînă la 10—13 m, lungimi pînă la 330—350 m, iar lățimea pînă la 180 m.

Studiul eolizației nisipurilor cu ajutorul microscopiei electronice a permis să se reconstituie elemente de detaliu ale vitezei și direcției vînturilor din perioade de modelare mult mai vechi.

Foarte discutată este originea eoliană, în condiții periglaciare, a *loessului* (rocă necoezivă, de culoare galbenă, alcătuită în principal din particule de cuarț și particule calcaroase) din Europa, Asia și America, depozit care ocupă peste 20 000 000 km². Opiniile asupra acestor depozite sînt foarte diferite, dar o mare parte dintre cercetători consideră că originea lor este eoliană. Această opinie a fost exprimată pentru prima dată de geograful francez *Vireet D'Aoustin*, în 1857, care a lucrat mult timp în Mexic ; apoi geologul german *von Richthofen* a dezvoltat și consacrat o astfel de ipoteză.

Cînd se are în vedere originea eoliană a loessului, se vorbește în mod curent, în rîndul specialiștilor, de un „loess rece" (depus în condiții periglaciare), așa cum sînt întinderile de loess din statul american Iowa sau cele din Europa și din Pampasul argentinian, și de un „loess cald" cum este cel din Asia Centrală.

EROZIUNE TERMICĂ ŞI CARST TERMIC

Pînă nu de mult, în terminologia referitoare la procesele de modelare a reliefului, termenul de eroziune era consacrat în sensul aproape exclusiv al procesului de „dislocare de particule de sol sau particule de rocă, în general, de către agenţii externi : ape curgătoare, gheţari, apa mării, vînt etc." şi se distingeau două mari categorii de procese de eroziune : mecanică şi chimică. Cercetările cu privire la modelarea reliefului în condiţiile periglaciare au impus o noţiune nouă, respectiv noţiunea de *eroziune termică*. Accepţia acestei noţiuni a fost dată, pentru prima dată, în sensul de : efectul termic al apelor curgătoare asupra gheţii, pentru că împreună cu efectele mecanice asupra malurilor, apele contribuie şi la topirea gheţii din baza malurilor, ceea ce constituie un proces dublu de eroziune, fluvială şi termică sau prescurtat, „eroziune fluviotermică" (*H. French*, 1976). Aceste procese se desfăşoară astfel : în baza malurilor rîurilor are loc, sub influenţa apei, o topire mai rapidă a gheţii din sol decît în secţiunile de maluri rămase în afara apei, încît baza este subminată prin formarea unor nişe (scobituri în mal) ; la ape mari asemenea nişe

capătă dimensiuni foarte mari (de cîţiva metri adîncime în mal), iar la scăderea apelor malurile se surpă ; are loc o retragere rapidă a malurilor şi în acest fel, *după J. Dylik* (1969), se realizează unul dintre cele mai importante fenomene de lărgire a albiilor, — aşa cum se presupune că s-au desfăşurat procesele de formare a marilor şesuri ale rîurilor siberiene.

În regiunile de ţărm ale mărilor şi lacurilor din zona îngheţului veşnic au loc procese similare, fapt pentru care se vorbeşte nu numai de un proces de abraziune mecanică ci şi de unul de *abraziune termică*, iar efectele geomorfologice ale conlucrării celor două tipuri de abraziune sînt foarte semnificative în evoluţia ţărmurilor. S-a constatat, de exemplu, că în ţărmurile Mării Laptev se formează nişe de abraziune termică cu înălţime de pînă la 3 m şi adîncime (pe direcţia ţărmului) pînă la 20 m, ceea ce reflectă, fără îndoială, unul dintre cele mai spectaculoase procese de evoluţie rapidă a ţărmurilor.

Manifestări de eroziune termică sînt foarte numeroase şi pe versant. Mulţi cercetători consideră că în climatul periglaciar formarea unor ravene are ca bază de plecare traseul penelor de gheaţă. Cercetătorii *J. Dylik* (1969), *T. Czudek* şi *J. Demek* (1970), *A. Journaux* şi *J. Dresch* (1972) etc. consideră că drenarea prin eroziune termică a versanţilor constituie principala cale de „evacuare" a materialului saturat în apa de topire a gheţii şi zăpezii.

De fapt întregul complex de procese ce decurge din topirea gheţii şi drenarea prin scurgere a apei rezultate, sau formarea unor procese de curgere a solului, ca solifluxiunile, sînt considerate, în lumina cercetărilor din ultimul timp, în categoria procese-

lor de eroziune termică. Dar pentru că noțiunea de solifluxiune este înțeleasă de către specialiști în cel puțin două accepții diferite, ne permitem o scurtă precizare: *solifluxiunile* sînt considerate procese de curgere a solurilor înmuiate pe versanți, pe un substrat înghețat; uneori, conținutul de apă și gheață în materialul ce se deplasează pe versanți poate ajunge la circa 50%; cînd se depășește acest procent, solul înmuiat devine o pastă noroioasă care se scurge sub forma unei lave, fenomen cunoscut sub numele de *tixotrofie*. Solifluxiunile, asociate cu eroziunea difuză sau a apelor de șiroire în condițiile îngheț-dezghețului constituie, în anumite situații, principalele procese de modelare a versanților. Numeroasele „circuri" de la obîrșia torenților din munții noștri sînt, de fapt, circuri de eroziune termică, forme de relief caracteristice mediului periglaciar caracterizat printr-o mai mare cantitate de umezeală. Profesorii francezi *Journaux* și *Dresch*, analizînd fenomenul de formare a circurilor de eroziune termică din Siberia au evidențiat complexitatea proceselor care participă la apariția acestei forme de relief specifice versanților din zona înghețului veșnic. Comparativ cu gelifracția, care tinde să realizeze profile de versanți în trepte (crioplanație și criopedimentație), eroziunea termică tinde să realizeze versanți lipsiți de ruperi bruște ale profilului, respectiv cu schimbări nete ale valorii înclinării lor, versanți care au forme rotunjite în partea superioară, la trecerea spre culmile muntoase și concave în partea inferioară, la trecerea spre fundul văilor.

Carstul este un fenomen care a fascinat și fascinează prin nebănuitul frumuseții formelor „ascunse" în întunericul nesfîrșit al peșterilor dar și prin pitorescul plin de măreție al „castelelor de

piatră" ai munților calcaroși. În general, acest fenomen de carstificare a fost asociat cu procesul de formare a reliefului în roci mai mult sau mai puțin solubile. În ultimii 10—15 ani a căpătat o largă circulație și noțiunea de *termocarst*. Introdusă încă din anul 1932 de sovieticul *Ermolaev*, această noțiune a fost folosită în mod deosebit în ultimii 10—15 ani, odată cu amploarea cercetărilor pentru explorarea zonelor cu permafrost actual impuse de rațiuni practice; prin termocarst se înțeleg acele procese de formare, prin surpare sau coborîrea suprafeței terenului, în general, a unor excavații, ca efect al schimbărilor termice din sol sau al topirii gheții de la partea superioară a permafrostului. În linii mari, este vorba de depresiunile ce se formează prin topirea gheții din sol. Se pune însă întrebarea: care sînt premisele apariției fenomenului de topire, mai mult sau mai puțin selectivă, a gheții și apoi a formării termocarstului?

Cercetări făcute în condițiile actuale din cîteva ținuturi nordice (Spitzbergen, Alaska, Siberia, delta fluviului Mackenzie) au contribuit la elucidarea multor aspecte cu privire la geneza termocarstului. Baza explicării o constituie faptul că într-un mediu periglaciar activ există un echilibru între factorii climatici, hidrologici și morfologici. Factorul climatic este măsurat prin căldura anuală (bilanțul termic) și regimul multianual; factorul hidrologic se referă la persistența rîurilor, lacurilor, mărimea și adîncimea lor; în sfîrșit, factorul morfologic este implicat prin activitatea fiecărui proces de la suprafața solului, de la eroziune în suprafață și solifluxiuni, la alte procese de denudație. Echilibrul celor trei factori este marcat prin prezența permafrostului și a stratului activ, cu grosimi mai mult sau mai puțin constante.

Variația grosimii stratului activ ne poate da imaginea echilibrului de care vorbim. Schimbarea climatului sau accelerarea unor procese care acționează asupra stratului activ pot provoca dezechilibrul. Profesorul *A. Jahn* (1972), după ce face precizări asupra semnificației de bilanț termic anual (suma totală a temperaturilor dintr-un an), bilanț denudațional (raportul dintre eroziune și acumulare, unde predominarea eroziunii înseamnă bilanț pozitiv), explică astfel raporturile dintre principalii factori de evoluție ai termocarstului (bilanțul termic și bilanțul denudațional) :

— dacă bilanțul termic este negativ în întregul an (permafrostul rămîne intact, nu se topește) și de asemenea, dacă bilanțul denudațional este tot negativ (suprafața terenului nu coboară), nu se formează termocarst ;

— dacă unul dintre cele două bilanțuri este de semn contrar, în raport cu celălalt, sînt condiții de formare a termocarstului : astfel, menținîndu-se bilanțul termic negativ dar trecîndu-se la o intensă eroziune (bilanț denudațional pozitiv), stratul va compensa partea erodată de la suprafață, iar lentilele de gheață (care erau în permafrost), vor ajunge în domeniul stratului activ, se vor topi și, în consecință, vor apărea denivelări, deasupra lor înscriindu-se concavități ;

— dacă bilanțul termic este pozitiv dar bilanțul denudațional se menține negativ, va avea loc o creștere în grosime a stratului activ (pe baza „consumării permafrostului"), lentilele de gheață masivă (ce erau în permafrost) rămîn în domeniul stratului activ din cauza coborîrii bazei acestuia, iar topirea lor va determina apariția formelor de termocarst.

Cele mai frecvente forme de termocarst au ca punct de plecare topirea rețelei de pene de gheață. Fenomenul se produce atît pe suprafețe plane relativ orizontale, dar și pe versanții care au o înclinare mai redusă ; pe versanți însă, rolul principal în declanșarea producerii carstului termic îl are denudația, care duce la o permanentă deplasare în adîncime a stratului activ, în sensul că eroziunea părții superioare este compensată prin coborîrea bazei sau a suprafeței de contact cu permafrostul. Unii specialiști vorbesc chiar de „văi termocarstice" pe versanți, procese produse în principal prin „alunecarea gheții subterane". Sînt și cazuri cînd ghețari în retragere sînt acoperiți de grohotișuri, iar topirea gheții determină apariția unor depresiuni în masa grohotișurilor, depresiuni ce corespund locului unde se aflau lentilele de gheață. Multe văi glaciare din Munții Rodnei și Retezat, ca și din alți munți din țara noastră, poartă amprenta unei astfel de faze de evoluție prin termocarst.

Pe suprafețe relativ plane se formează uneori depresiuni foarte mari pe care specialiștii le numesc „termodepresiuni" (*L. Hamelin, Fr. Cook*, 1967). Sînt depresiuni puțin adînci, iar principalele lor caracteristici depind de tipul de gheață în sol, de amploarea schimbărilor morfoclimatice, de vegetație etc. Multe dintre așa-zisele „pene periglaciare" și „buzunare periglaciare" (depozite care umplu locuri ocupate anterior de lentile de gheață) au la origine fenomenul de termocarst.

INUNDAȚIILE SE PRODUC ÎN TIMPUL IERNII VEȘNICE...

Nu este greu de presupus că pentru producerea fenomenului de inundație sînt necesare anumite condiții și anume : exces de umiditate în sol și cantități mari de precipitații, dar și anumite condiții de morfologie a albiilor (albii puțin adînci) sau care nu pot prelua întregul volum al scurgerii din bazin. Inundațiile care s-au produs la noi în ultimii ani sînt o dovadă incontestabilă pentru acest fapt. Și încă un aspect. Sîntem obișnuiți, la latitudinea țării noastre ca, în condițiile actuale, inundațiile, în timpul iernii, să se producă numai în mod cu totul excepțional. Desigur, nimic deosebit în aceasta. Dar să transformăm imaginea iernilor foarte riguroase la scara timpului geologic, cînd sute și mii de ani temperaturile medii anuale nu treceau de 0°C, atunci producerea unor fenomene de inundații ni se va părea aproape neverosimilă. Cu atît mai mult cu cît precipitațiile sînt în cantități extrem de reduse, în general sub 300 mm în regiunile climatice arctice și arctic-continentale, iar acestea, cu puține excepții, cad sub formă de zăpadă. Și totuși fenomenul are loc și cîteodată capătă amploare deosebit de mare. Cauzele producerii sînt, în primul rînd, de ordin termic : pe de o parte salturile bruște de temperatură, de la cele negative la cele pozitive, în cele cîteva luni în care mercurul urcă peste 0°C, pe de altă parte, menținerea solului înghețat, ceea ce reduce considerabil, ba chiar anulează, în unele cazuri, infiltrația ; în al doilea rînd, sînt cauze de ordin geomorfologic specifice mediului periglaciar, și anume : prezența albiilor minore puțin adînci, anastomozate și puternic despletite (aceste rîuri neavînd un regim hidrodinamic de intensă activitate geomorfologică, albiile lor sînt, la un moment dat, pur și simplu barate de aluviunile propriului rîu) ; o altă cauză ce favorizează producerea inundațiilor este lipsa vegetației, al cărei rol în regularizarea scurgerii pe versanți și a scurgerii în general este cunoscut. Așadar, în domeniul înghețului veșnic sau, cum se mai spune, în domeniul iernii veșnice, sînt condiții de producere a inundațiilor. Hidrograful pe care îl exemplificăm (fig. 12) reprezintă variația nivelului unui rîu dintr-o insulă a arhipela-

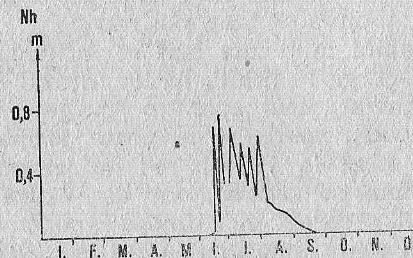


Fig. 12. Variația nivelului apelor rîului Isacosen în 1962 (din Ins. Ellef Ringnes — Canada) (după *D. St. Onge*, 1961).

gului canadian și indică faptul că pe rîurile mici scurgerea apare brusc și dispare la fel de repede ; în condițiile periglaciare, topirea zăpezii are un răspuns hidrologic rapid deoarece permafrostul controlează scurgerea prin impermeabilitatea sa. Aceasta este și cauza pentru care rîurile mici înregistrează cu mare fidelitate mersul regimului termic prin variația volumului scurgerii, iar aceste influențe sînt identificate pînă la nivelul variațiilor zilnice. Deci, temperatura, zăpada, permafrostul sînt trei elemente determinante în regimul scurgerii, fapt care-i face pe specialiștii în probleme de hidrologie să vorbească de producerea *inundațiilor nivale*.

Profesorul *A. Pissart* (1976), observînd îndeaproape organizarea și modalitățile de scurgere a apei într-un ținut arctic (caracterizat prin temperaturi medii anuale de —18°C, în iulie o temperatură medie de +3,3° și precipitații de circa 86,7 mm/an), arată o serie de elemente specifice producerii scurgerii în asemenea condiții, și anume :

— topirea zăpezii se face progresiv, dar în mai multe faze succesive ; local, zăpada se topește sub acțiunea radiației solare chiar cînd temperatura aerului este sub 0°C, iar acolo unde pe zăpadă există praf eolian, topirea se face mai repede ;

— apa topită în prima fază se infiltrează în zăpadă și se scurge la limita dintre stratul de zăpadă și solul înghețat, apoi apare o scurgere în suprafață, pe zăpadă, scurgere ce poate forma fronturi cu lărgime pînă la 10—15 m ; cu timpul se formează o albie pe zăpadă, dar din cauza variației temperaturii, care în timpul nopții coboară sub 0°C, cel puțin în prima fază a începerii dezghețului, frontul acestor albii îngheață și apa nu ajunge întotdeauna la albia rîului colector ; după ce acțiunea de scurgere „învinge" zăpada și gheața de pe versant și apa ajunge în albia colectorului principal, se produc fenomene specifice albiei ;

— apa curge la început în albii, pe zăpadă și gheață și numai după un timp se ajunge la scurgerea pe aluviunile albiei ; fenomenul se desfășoară lent pentru că apa sosită în albii este încărcată cu zăpadă și gheață, dar trecerea la scurgerea pe aluviuni se face brusc, cînd este și momentul declanșării unor inundații de amploare.

În general, din cauza scurgerii subnivale pe versanți, încărcătura în suspensii a rîurilor din domeniul înghețului veșnic este foarte mare, iar valoarea debitului solid, în total, este cu mult peste cea pe care o au rîurile de la latitudini medii. Se apreciază de altfel un ritm de eroziune pînă la 441 mm/1000 ani. Cercetătorul *M. Church* (1972), care a consacrat o amplă lucrare problemelor scurgerii rîurilor arctice, prezintă o foarte interesantă relație între scurgerea totală lichidă și cea solidă, din care reiese că peste 75% din volumul sedimentelor rîurilor periglaciare sînt transportate într-un timp record, ce reprezintă circa 80% din timpul scurgerii. Este, într-adevăr, un fenomen impresionant, și se petrece aproape în exclusivitate în timpul scurt al apelor mari. Și pentru a da un exemplu ilustrativ asupra ceea ce înseamnă variația scurgerii impuse de regimul termic, să menționăm că în timpul iernii fluviul Mackenzie transportă circa 3500 m³/s, iar adîncimea apei la vărsare este sub 2 m. În timpul verii debitul este de circa 20 000 m³/s, iar adîncimea de 5—10 m, deci destul de redusă. Aceasta, din cauza inundațiilor care fac ca apele la confluență să se extindă pe o lărgime foarte mare a albiei majore a fluviului.

PĂDUREA, TUNDRA, DEŞERTURILE DE PIATRĂ ŞI... DRUMUL SPRE SUD AL RENILOR ŞI MAMUŢILOR

Multe dintre elementele prezentate pînă acum au evidenţiat, credem, cu prisosinţă, inospitalitatea ţinuturilor îngheţului veşnic. Dar „ospitalitatea" sau „inospitalitatea" unei regiuni naturale este cel mai bine oglindită de vegetaţie şi faună, a căror bogăţie în specii exprimă, de regulă, condiţii de viaţă favorabile. Dimpotrivă, sărăcia în genuri şi specii, precum şi o anumită subdezvoltare a indivizilor populaţiilor de plante şi animale denotă vitregia condiţiilor bioclimatice.

Încercînd să facem o incursiune printre aspectele principale ale vegetaţiei şi faunei din limitele îngheţului veşnic, trebuie să recunoaştem că nu este atît de uşor. Amintind doar simplul fapt că se remarcă o mare sărăcie de specii lemnoase, care, de la o anumită latitudine, spre poli, lipsesc ; că datorită condiţiilor de mediu din aceste locuri speciile de animale cu sînge rece lipsesc ; că unele specii de animale cu sînge cald, datorită fenomenului de homeotermie beneficiază de o relativă independenţă în raport cu condiţiile vitrege existente ; că în componenţa pădurilor celor mai nordice sînt atotstăpînitoare speciile cu frunze aciculare etc., nu putem căpăta imaginea adevărată a lumii vegetale şi animale din aceste ţinuturi. De aceea vom încerca să arătăm succint cîteva elemente specifice ale florei şi faunei care, la intervale relativ scurte de timp au suferit mari pendulaţii în spaţiu. Cu 15 000 de ani în urmă calota glaciară continentală a Europei acoperea Scandinavia în întregime şi avansa mult spre sud, iar în prezent limita pădurii înaintează mult spre nord, peste arealul acoperit altădată de calotă. În acest context apar de la sine întrebări cu privire la originea şi adaptabilitatea cel puţin a unor specii pe care le întîlnim în aceste regiuni vitrege ale globului.

Pentru a le da răspunsul vom încerca să arătăm pe rînd situaţia actuală a unor aspecte specifice de vegetaţie şi faună, cîteva elemente referitoare la originea lor şi, în sfîrşit, semnificaţia bioclimatică şi pendularea limitelor unor elemente de biocenoză periglaciară.

În ceea ce priveşte răspîndirea vegetaţiei, dar şi a faunei, doi factori climatici sînt determinanţi : regimul termic şi cel al umidităţii, în principal, precipitaţiile. Anumite valori ale acestora pot constitui indici ecologici în dezvoltarea unor asociaţii vegetale sau biocenoze, în general. De exemplu, temperatura controlează limita pădurilor spre regiunile reci, iar precipitaţiile controlează aceeaşi limită, spre regiunile tropicale. Pe noi ne interesează limita pădurilor spre regiunile polare, iar în cazul masivelor muntoase, spre regiunile alpine. Referitor la aceasta, se pare că există un consens în lumea specialiştilor, considerîndu-se că izoterma de $+10°C$ a lunii celei mai calde a anului constituie limita ecologică a pă-

durilor, spre regiunile polare şi spre regiunile alpine. Pilcuri de arbori sau arbori izolaţi avansează însă mult spre nord de această limită ecologică (uneori de circa 50 km — *H. French*, 1976), după cum în Alpi s-a observat că arbori izolaţi urcă pînă la 300—400 m deasupra limitei ecologice a pădurilor.

Aceste păduri „reci“, dominate de o climă polară cu ierni lungi, în timpul cărora întreaga apă din sol îngheaţă, sînt formate din specii anatomic adaptate gerurilor puternice, la mari oscilaţii de temperatură. Altfel nici nu s-ar explica prezenţa pădurii în Yakuţia, regiune cu temperaturi medii anuale sub —10°C, şi cu amplitudini termice absolute de aproape 100°C. Dar o asemenea prezenţă nu trebuie să ne mire pentru că, aşa cum am spus, ceea ce determină limita ecologică este durata timpului cu temperaturi medii zilnice mai mari de 10°C, suma temperaturilor pozitive fiind cea care dă mărimea ciclului vegetal. Or, în Siberia, în ciuda temperaturilor negative extrem de scăzute, frecvent pînă la sub —50°C, se înregistrează şi temperaturi pozitive foarte ridicate pentru astfel de regiuni. Mai concret, la Yakutsk (situat la circa 100 m altitudine absolută şi la 62° lat. nordică) temperatura medie anuală este de —10,2°C, în ianuarie se înregistrează o temperatură medie de —43°C, iar în iulie +19°C, în timp ce valorile absolute pozitive se ridică în luna iulie, uneori, la 38°C (într-adevăr incredibil de ridicate), precipitaţiile sînt reduse, de circa 190 mm/an, iar evaporaţia şi evapotranspiraţia de aproximativ 180 mm/an ; prin urmare, un climat extrem de riguros şi puternic continentalizat, un climat rece-arid. Însă, din cauză că în timpul verii mercurul termometrelor urcă cu mult peste 0°C, sînt condiţii termice pentru realizarea ciclurilor vegetale la unele specii lemnoase, cărora le trebuie cel puţin 50 de zile cu temperaturi pozitive peste 0°C (de exemplu mesteacănului din taiga îi trebuie numai o lună de zile).

Pădurile din zona îngheţului veşnic sînt sărace în specii ; de pildă, în taigaua siberiană, care se suprapune, în mare parte, pe zona îngheţului veşnic, sînt cîteva specii caracteristice : laricele *(Larix dahurica)* ce se dezvoltă în condiţiile prezenţei unui strat activ (mollisol) foarte subţire ; o specie de pin numit *Pinus sanna*, cu rădăcinile trasante şi pivotante, ocupînd solurile nisipoase mai groase de pe interfluviile relativ uscate ; cîteva specii de molizi, între care domină *Picea obovata*, iar în lungul rîurilor sînt foarte frecvente sălciile polare şi mestecenii. Imensa pădure yakută este o pădure luminoasă, în sensul că prezintă numeroase luminişuri şi poieni în care sînt turbării.

În Peninsula Scandinavică, în alcătuirea „pădurii periglaciare“ domină mesteacănul numit *Betula obovata*, dar formează păduri rare cu un bogat strat de licheni, printre care cel mai răspîndit este o specie cunoscută sub numele de *Cladonia rangiferina*. În America de Nord, pădurile regiunilor de îngheţ veşnic sînt reprezentate în principal prin molidul negru *(Picea mariana)* şi laricele *(Larix laricina)* ; se mai întîlnesc apoi, dar nu ca dominante : bradul de balsam *(Abies balsamaea)*, *Picea glauca*, boschete de mesteacăn alb *(Betula papyrifera)*, plopul tremurător *(Populus tremuloides)*, plopul de balsam *(Populus balsamifera)* şi, accidental, pinul gri *(Pinus banksiana)*.

Cercetări efectuate în diferite zone cu permafrost au arătat că există raporturi intime între diferitele asociaţii vegetale lemnoase, relief şi permafrost. De exemplu, *R. J. Brown* (1976) a observat în Peninsula

Labrador că pe pantele mai dulci și pe terenurile mai ridicate crește pinetele negru ; în depresiuni alternează vaste suprafețe cu mlaștini populate cu mușchi, licheni și, foarte rar, cu grupe de arbori ; acolo unde drenajul este bun există păduri mixte de plopi balsamiferi, pini de balsam și pin negru. *D. Gill* (1973) constată chiar prezența unei succesiuni de formațiuni vegetale în cadrul unor amplitudini mai mici de relief, pe care le-a studiat în delta fluviului Mackenzie (fig. 13). Prin urmare, dacă în ansamblul pădurilor nordice monotonia este pregnantă, în cadrul acestor păduri o serie de elemente introduc variații locale semnificative.

Fără îndoială că cea mai extinsă formațiune vegetală a domeniului înghețului veșnic este tundra, unul dintre cele mai deprimante peisaje pe care le poate oferi covorul vegetal, un ținut în care domină lichenii și mușchii și unde această imensă monotonie este „înveselită" totuși, pentru scurta vară polară, de florile vii și mici ale plantelor. În timpul iernii, cînd doar lumina stranie a aurorelor din noaptea polară este fascinantă, întreaga tundră este un covor întins de zăpadă țesut de vînturi în toate direcțiile. Cînd vine „vara" solul se dezgheață pe o mică adîncime, iar apa rezultată nu se poate infiltra din cauză că permafrostul este, practic, impermeabil. Totul se transformă în mari întinderi de apă, întinderi de terenuri mlăștinoase. Plantele ierboase sînt scunde, iar pe alocuri se ridică tufe de sălcii pitice *(Salix herbacea)*, rogozuri *(Carex bigelowii)*, apoi specii de graminee *(Poa arctica)*, mușchi *(Eriophorum)*, licheni *(Cetraria nivalis)* etc. Vînturile puternice, stratul de sol foarte subțire și sărac în substanțe nutritive nu permit dezvoltarea unei vegetații mai înalte. Spuneam la începutul acestui capitol că una dintre caracteristicile vegetației este

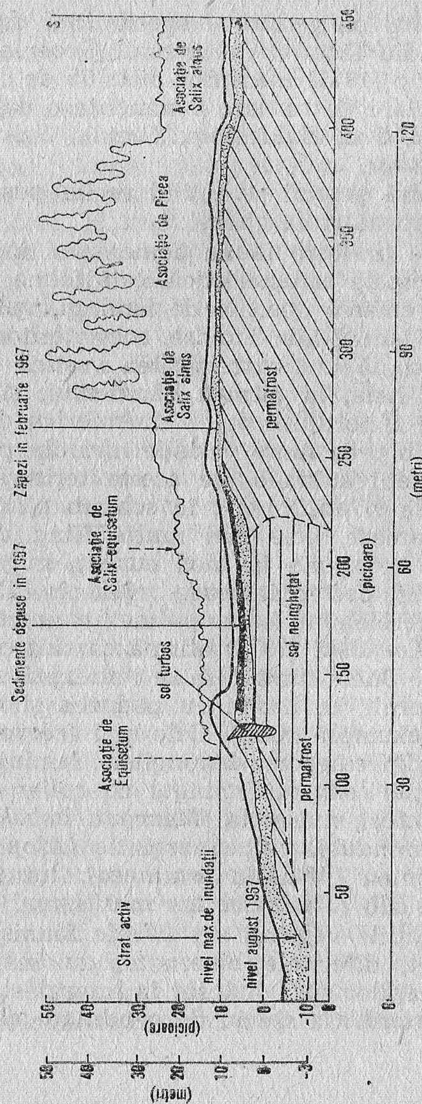


Fig. 13. Succesiunea unor asociații vegetale pe un interfluviu jos din delta fluviului Mackenzie (după *D. Gill*, 1973).

numărul redus de genuri şi specii. Iată un exemplu : un studiu făcut în nord-estul Groenlandei de către *H. Raup* (1971) identifică doar 65 de specii de plante vasculare, între care dominanta o dau speciile de *Carex, Poa, Equisetum, Luzula, Salix, Saxifraga, Droba* etc.

Între tundră şi poli se întind recile pustiuri de piatră, de zăpadă şi de gheaţă.

În ceea ce priveşte fauna domeniului îngheţului veşnic, principala caracteristică o dă fauna tundrei, în care se remarcă speciile de lemingi, vulpea argintie, renul, ursul alb. Tundra, acest teritoriu vast, care se continuă din extremitatea vestică a Europei pînă în Asia, la ţărmul Pacificului, şi pe întrega lăţime a nordului polar al Americii de Nord, nu prezintă o prea mare variaţie nici din punct de vedere al vieţii animale. Pe aceste teritorii nu se găsesc reptile şi amfibieni ; în schimb păsările sînt foarte numeroase, cele mai multe fiind de pasaj sau, cum li se spune în mod curent, migratoare ; unele însă îşi petrec întreaga viaţă în Extremul nord. Mamiferele sînt foarte puţine ; cunoscutul cercetător *K. Kowalski* (1977) afirmă că sînt cel puţin 20 de specii. Unele dintre ele se îndreaptă spre sud în timpul iernii, la limita cu pădurea şi chiar în pădure (de exemplu renii). Cele mai frecvente sînt rozătoarele din categoria lemingilor : lemingul norvegian *(Lemus lemus)*, lemingul cu colier *(Dicrostonyx torquates)*, marmota *(Marmota bobak)*, renul *(Rangifer tarandus)*, vulpea argintie *(Alopegus lagopus)*, hermina *(Mustela ermineea)*, lutra *(Lutra lutra)*, ursul alb *(Thalossarctos maritimus)* etc.

Atît asociaţiile vegetale cît şi cele faunistice, într-un cuvînt, diferitele biocenoze, au înaintat în timpul glaciaţiilor spre sud, iar în interglaciare s-au retras spre nord. Ca spaţiu de pendulare al acestor asociaţii, limitele sînt foarte mari, depăşind spre sud, pentru unele specii (lemingi, reni, mamuţi etc.), paralela de 44° lat. nordică. Ca timp însă este vorba de o perioadă foarte scurtă (de exemplu circa 10 500 ani de la sfîrşitul ultimei glaciaţii). Şi, încă un aspect : unele specii care au trăit în climatele glaciare cuaternare nu mai există astăzi în peisajul tundrei, al regiunilor îngheţului veşnic, în general. De aceea, originea unor specii, dar şi adaptabilitatea altora, sînt probleme care stau în atenţia specialiştilor. Există ideea, de exemplu, că în evoluţia mamiferelor polare s-au diferenţiat două direcţii, cu circa 500 000 ani în urmă, de la o faună comună ce trăia în munţii din Asia Centrală. De aici ea s-ar fi răspîndit în Europa şi America. Cercetări mai noi, realizate în cadrul programelor sovietice, americane şi canadiene pentru studiul Arcticii, au furnizat un bogat material care a permis reluarea problemei. S-a stabilit astfel că o diferenţiere în cele două linii de evoluţie (specii caracteristice perioadelor glaciare cuaternare şi specii caracteristice actualelor zone cu permafrost) a avut loc cu aproximativ 1 000 000 de ani în urmă şi că multe specii actuale, atît de caracteristice regiunilor reci, îşi au originea în specii care se găseau în regiuni mult mai calde. De exemplu, se presupune că lemingul îşi are originea într-o specie numită *Synoptory*, care în pliocen (cu cel puţin 1 milion de ani în urmă) ajungea pînă în Mexic şi Florida, iar în Asia, pînă în stepele mongole ; boul moscat (specie caracteristică perioadelor reci cuaternare) îşi are originea într-un bovideu din pliocenul superior din China, unde era o specie de climat semiarid. Alte specii arctice ca vulpea argintie, unii lemingi, nu au fost identificate ca resturi fosile pentru perioade mai vechi decît cuaternarul. Plecînd de

la ultimele glaciații, spune savantul K. *Kowalski*, trebuie să arătăm că vulpea argintie a avut o mare răspîndire în ultima fază rece, numită Würm, deci în urmă cu 15—20 000 ani, cînd se găsea din Spania pînă în Ucraina ; de asemenea, ursul alb este identificat ca fosil tot din ultima glaciație.

Din cele prezentate se pot desprinde cîteva concluzii interesante, și anume : actuala zoocenoză a tundrei s-a format cu circa 1 milion de ani în urmă, pentru că determinările de polen din zonele arctice, precum și paleofauna depozitelor terțiare arată clar că viața de la latitudinile mari (Islanda, Spitzbergen, Alaska, Canada etc.) aparținea, în terțiar, unui tip subtropical. Cu circa 50 000 000 ani în urmă, în aceste ținuturi erau aligatori și salamandre. Deteriorarea climatului a început aproximativ la jumătatea terțiarului. În pliocen, pădurile din Alaska erau deja de tipul taigalei, din care, după opinia multor cercetători, derivă formațiunile de tundră (prin deteriorarea taigalei).

În ceea ce privește fauna, este vorba, în linii mari, de o anume adaptabilitate la mediu la care au avut „acces“ unele specii cu sînge cald, sau, cum li se mai spune, animale homeoterme. Acestea beneficiază de o relativă independență de mediu (ca regim termic), putîndu-se realiza între temperatura corpului lor și cea a aerului o diferență de temperatură pînă la 80°C. Este indispensabil însă ca temperatura internă să rămînă tot anul, sau pentru cea mai mare parte a lui, între 34—40°C. În timpul iernilor foarte geroase unele animale își găsesc condiții mai favorabile sub malurile rîurilor (marmota), altele se afundă în zăpadă (lemingul, chiar cîinele eschimoșilor și ursul polar, în perioada de procreere). Cîteva mamifere (renul, boul moscat și altele) nu se pot îngropa în zăpadă, iar arma

esențială împotriva gerului, împotriva pierderii de căldură, este îmblănirea, îngroșarea învelișului de blană, iarna. La nivelul regiunilor corpului de unde se pierde mai multă căldură (nas, ochi, partea inferioară a membrelor) au apărut o serie de modificări și adaptări ale sistemului circulator, și anume : reducerea pierderii de căldură, rezultă pe de o parte, din cauza unei slabe circulații a sîngelui, pe de altă parte, ca efect al existenței unui „contracurent“ în care sîngele răcit, care vine din zona de pierdere a căldurii, este încălzit prin cel ce vine din restul organismului, prin juxtapunerea arterelor și venelor. De exemplu, la ren, în preajma nasului sîngele se răcește la circa 20°C, iar la partea inferioară a membrelor, pînă la 9°C.

În Europa, evoluția raportului între pădure și tundră a avut loc într-un fel deosebit. Astfel, pădurea a lăsat loc unei tundre care a trecut, gradat, în stepă rece (o asociație vegetală caracteristică regiunilor semiaride) formînd un mediu special numit *tundrostepă*, în care se întîlnea atît faună de tundră, cît și de stepă. Spațiile ocupate de această formațiune erau, în perioada glaciară cuaternară, mult mai extinse, ceea ce a permis unor specii polare tipice de tundră (mamuți, reni, lemingi, vulpi argintii) să înainteze mult spre sud ; în perioadele interglaciare, această formațiune se retrăgea făcînd loc pădurilor. Ultima avansare spre nord a pădurilor a început cu circa 10 000—10 500 ani în urmă. În Asia de nord-est fenomenele au avut o altă nuanță : taigaua a separat tundra la nord de stepa de la sud, iar tundra a pierdut caracterul stepic, atît de pregnant în Europa.

Plecînd de la analiza elementelor faunistice, indicatoare de condiții climatice specifice înghețului veșnic, cercetătorul sovietic *E. A. Vangengjm*

(1975) a încercat o reconstituire a arealelor faunei periglaciare pleistocene pentru Asia și estul Europei și a ajuns la concluzia că fauna de tip periglaciar, deci fauna întinderilor înghețului veșnic, era formată din animale adaptate la spații deschise și ierni cu puțină zăpadă. Pe baza elementelor de paleofaună s-au stabilit traseele urmate de această faună în pendularea ei între latitudinile polare și latitudinile medii, pendulare în care a fost cuprins aproape în întregime și teritoriul țării noastre. Bogăția paleofaunei reci identificată în Dobrogea și Cîmpia Română este edificatoare din acest punct de vedere.

ȘI TERITORIUL ROMÂNIEI A FOST INCLUS „HIPERCONTINENTULUI" ÎNGHEȚULUI VEȘNIC

Pentru nespecialiștii în geologia cuaternarului obișnuiți cu condițiile de mediu natural în care este amplasat teritoriul țării noastre, în comparație cu situația existentă în Extremul nord al continentului european, afirmația că acest teritoriu se afla, în urmă cu cel mult 15—20 000 ani, în domeniul înghețului veșnic, ar putea să fie considerată ca incredibilă.

În capitolele anterioare am lăsat să se înțeleagă că sînt multe fenomene ce caracterizează permafrostul, a căror arie de manifestare a variat mult de-a lungul ultimei perioade glaciare, pe mari spații, ajungînd pînă la latitudini la care se află și teritoriul patriei noastre.

Problema includerii acestui spațiu în aria înghețului veșnic sau, cel mult, în spațiul acțiunii proceselor de îngheț-dezgheț asupra rocilor, asupra reliefului, în general, i-a preocupat mult pe specialiștii noștri. Nu este locul, și nici nu ne-am propus să facem un istoric, dar ne facem o plăcută

îndatorire de a-i menţiona pe cîţiva dintre iluştrii dispăruţi, care au făcut pionierat în astfel de cercetări din ţara noastră. *S. Athanasiu* a publicat în 1899 o lucrare cu privire la relieful din partea nordică a Carpaţilor Orientali, în care relevă „rolul îngheţ-dezgheţului" în formarea culmilor larg rotunjite; *Gh. Murgoci* a scris în 1900 un articol cu privire la rolul îngheţului asupra rocilor poroase (loessuri), apoi s-a ocupat de originea loessurilor din ţara noastră; *M. Sevastos* a făcut în 1907 unele observaţii preţioase asupra raportului dintre originea eoliană a loessului şi condiţiile climatice din perioadele glaciare; prin lucrarea referitoare la faleza Mării Negre (publicată în 1933), *C. Brătescu* deschide o lungă perioadă de activitate în care se ocupă de originea loessului, a solurilor fosile şi a oscilaţiilor nivelului Mării Negre în raport cu glaciaţiile continentale; prin lucrarea sa asupra grohotişurilor din valea Slănicului, *V. Mihăilescu* a deschis drumul unor observaţii asupra gelifracţiei şi dinamicii maselor de grohotişuri periglaciare în condiţii de alterare. Şi lista ar putea continua, dar ne oprim aici, mulţi dintre cei care au promovat astfel de cercetări slujind şi astăzi cu deosebit devotament cunoaşterea domeniului la care ne referim.

În timpurile prezente, înălţimile din munţii noştri care depăşesc 2000 m altitudine absolută sînt cuprinse în arealul temperaturilor medii anuale negative. Cum valoarea maximă a altitudinilor absolute din Carpaţii noştri este de numai 2543 m (vf. Moldoveanu din Munţii Făgăraş), este uşor de presupus că suprafeţele incluse în arealul cu temperaturi negative sînt relativ mici, în raport cu suprafeţele montane care evoluează în condiţiile tipice ale climatului temperat-continental. Menţionăm aici principalele masive care, prin partea lor superioară, se află în aria permafrostului, cu specificarea că este vorba de permafrostul montan: Munţii Rodnei, Călimani, Bucegi, Făgăraş, Parîng, Retezat, Godeanu etc. Procesele specifice acestor areale sînt: gelifracţia (fără a ajunge la intensitatea pe care a avut-o în timpul perioadelor glaciare), eolizaţia, curgerile de blocuri pe versanţi etc.

Pentru fixarea cadrului în care teritoriul ţării noastre s-a aflat în aria permafrostului în ultima perioadă glaciară cuaternară, să recapitulăm mai întîi cîteva date ale extinderii unor aspecte proprii îngheţului veşnic, pînă la latitudinile la care se află şi ţara noastră, în cadrul continentului european; apoi să încercăm să stabilim ierarhia elementelor indicatoare de permafrost de pe teritoriul ţării, identificate pînă acum.

Teritoriul României, situat între 43°37′07″ şi 48°15′06″ latitudine nordică, se află în zona latitudinilor mijlocii, la o distanţă apreciabilă de Oceanul Atlantic, dar şi de aria continentală siberiană, adică este situat între cele două extreme implicate, în principal, în circulaţia atmosferică de la latitudini medii din Emisfera nordică.

Hărţi paleoclimatice ale emisferei nordice, ale globului, în general, pentru ultima perioadă glaciară a cuaternarului (*H.H. Lamb*, 1977) arată că circulaţia atmosferică circumpolară din Emisfera nordică se extindea pînă la latitudinea de circa 42°, şi foarte probabil că aceasta a fost una dintre cauzele fundamentale ale extinderii îngheţului veşnic spre sud; hărţi ale paleotemperaturilor pentru perioada de acum circa 17 000 de ani în urmă indică temperaturi mai scăzute la suprafaţa Oceanului Atlantic cu circa 10°C în timpul iernii (la intrarea

în Marea Mediterană), față de iernile actuale; după sovieticul *A. A. Veliciko* (1975) Oceanul Atlantic era acoperit cu o platoșă de gheață, pînă la aproximativ 42° — 43° latitudine, iar cercetătorii *L. H. Burkle* și *D. Clarke* (1977) arată că scutul de gheață al Atlanticului cobora pînă la circa 45° latitudine; Marea Mediterană avea o temperatură medie a apelor mai mică de 12°C (*R. Letolle* și *Grazzini-Vergneaud*, 1974); calota glaciară continentală acoperea partea de nord a Europei și ajungea pînă în Cîmpia germano-polonă. Iată cîteva date care arată clar că în zona continentală a Europei de la latitudini medii, deci inclusiv în zona unde se află teritoriul țării noastre, erau condiții de climat foarte aspru. De altfel, încă un aspect pe care nu l-am arătat și nu-l putem trece cu vederea este faptul că biocenoze specifice tundrei au pătruns pînă la sud de paralela de 44°, ceea ce constituie într-un fel o sinteză a condițiilor domeniului înghețului veșnic.

Să vedem acum ce elemente indicatoare de climă rece, de condiții periglaciare specifice permafrostului au fost identificate pe teritoriul României.

Munții noștri poartă amprenta modelării reliefului prin acțiunea ghețarilor de la altitudini mai mari de 1 000 m (în unele masive din Carpații Orientali) și mai mari de 1300—1350 m (în unele masive din Carpații Meridionali); în același timp s-au găsit indicii (cantitatea de carbon organic din sedimentele marine sub 0,6%, conținut redus de aminoacizi ai acelorași sedimente, conținut redus de hexozamină etc.) că Marea Neagră era rece, acoperită cu o platoșă de gheață (*T. Degens, R. Hecky*, 1974), ceea ce nu trebuie să ne mire din moment ce în perioada actuală sînt ani cînd sloiuri de gheață cu grosime pînă la 4 m ajung din golful

Odessa pînă la Constanța, și chiar pînă în Strîmtoarea Bosfor (un asemenea fenomen a avut loc în iernile 1928—1929 și 1953—1954); în aceeași perioadă, respectiv în urmă cu 15—17 000 ani, marea avea nivelul apelor cu circa 130 m mai jos decît cel actual, fapt demonstrat de cercetătorii *Millamin și Emery* (1968, citați de *T. Degens* și *R. Hecky*). Prin urmare se desprinde o primă concluzie: între Carpați, care erau cuprinși parțial în etajul glaciar și Marea Neagră, care era cuprinsă temporar de o platoșă de gheață, este o distanță sub 300 km și ar fi împotriva logicii să considerăm că teritoriul dintre aceste două extreme, ambele în zona înghețului, nu era cuprins în domeniul înghețului veșnic.

Multe dintre elementele pe care le-am prezentat în primele capitole indică existența permafrostului, dar dintre ele, penele de gheață sau crăpăturile de ger (în permafrost umplute cu depozite de la degradarea acestuia, care nu prezintă structura celor în care s-a format crăpătura) sînt considerate argumente pentru cele susținute mai înainte. Cercetările din țara noastră au pus în evidență astfel de fenomene chiar în părțile cele mai sudice ale țării: în Dobrogea și Cîmpia Română.

În zona montană se întîlnesc frecvent pe versanți forme de tipul teraselor de crioplanație (aflate în diferite faze de evoluție) cu începere de la altitudini mai mari de 1000—1200 m (în Carpații Orientali); aceste forme, după opiniile exprimate în ultimul timp de cercetători de mare notorietate, se dezvoltă în apropiere de limita inferioară a zăpezilor perene sau zăpezilor veșnice.

De asemenea, aproape toți versanții regiunilor montane și submontane, mai puțin cei din podiș (unde relieful cuaternar a fost radical modificat de

procesele actuale) păstrează, în linii mari, tiparul unui relief format prin acțiunea complexă a proceselor de eroziune termică. Numeroasele circuri de eroziune termică, văi de versant, depozite de versant, în special cele de solifluxiune, arată cu prisosință amploarea pe care a avut-o eroziunea termică la nivelul versanților.

Analizele de polen ale depozitelor cuaternare au arătat că vegetația perioadelor glaciare de la noi a fost tipic de tundră și silvo-tundră (întrepătrunderea tundrei cu pădurea) și tundro-stepă.

În numeroase depozite sedimentare din țara noastră s-au identificat resturi fosile ale unei faune de climă rece periglaciară, care a ajuns pînă în extremitatea sudică a țării (este vorba de fauna de mamuți, reni, bou moscat, lemingi etc.). Este limpede că ne aflăm în fața unor dovezi incontestabile cu privire la prezența înghețului veșnic în limitele teritoriului țării noastre. Cum există însă multe controverse în aprecierea efectelor acestui mediu natural în perimetrul la care ne referim, este necesar să facem cîteva precizări, și anume:

— acest teritoriu s-a aflat la periferia domeniului înghețului veșnic, într-o zonă de pendulare continuă a limitei permafrostului, respectiv, s-a aflat, în cea mai mare parte, în domeniul permafrostului discontinuu și marginal, al permafrostului bine drenat, deci în domeniul permafrostului uscat. Din această cauză, structurile indicatoare de permafrost (penele de gheață) nu abundă ca în regiunile mai nordice;

— încercările de a paraleliza fenomenele generate de prezența permafrostului, aici, cu cele din ținuturi nordice, trebuie să țină seama de latitudinea la care ne aflăm, în funcție de care au variat radiația solară, numărul și amploarea ciclurilor gelivale;

— este foarte posibil că instalarea condițiilor de permafrost s-a făcut pentru perioade scurte de timp, în așa-numitele momente de vîrf ale fazelor glaciare.

În concluzie, trebuie să reținem că pămînturile patriei noastre s-au aflat cîndva în aria imensului continent al înghețului veșnic dar au ocupat o poziție relativ periferică în ansamblul acestui hipercontinent. Și chiar dacă urmările acestei poziții nu sînt pregnant vizibile, pe întregul cuprins al țării sînt elemente a căror evoluție actuală reflectă în bună măsură asemenea efecte „neobservabile“ la prima vedere. Spre exemplu, există certitudinea că cea mai mare parte a depozitelor versanților regiunilor muntoase, care astăzi sînt afectați de alunecări, s-au acumulat în condiții periglaciare sau în faza de degradare a condițiilor de îngheț veșnic. O asemenea concluzie este destul de importantă dacă avem în vedere că alunecările de teren, reactivate la proporții îngrijorătoare în ultimii 8—10 ani, evoluează în principal pe seama acestor depozite.

INGINERIA ÎNGHEŢULUI VEŞNIC: DE LA CONSTRUCŢIA DE DRUMURI ŞI LOCUINŢE LA CONSTRUCŢIA DE MARI CONDUCTE DE PETROL ŞI GAZE

Experienţa milenară a dezvoltării culturii şi civilizaţiei, a dezvoltării economiei, a progresului realizat în folosirea mediului, arată că orice exploatare a acestuia trebuie precedată de o cunoaştere ştiinţifică pentru a se evita unele dezechilibre. Sînt cunoscute numeroase cazuri cînd „natura s-a răzbunat" prin evoluţia normală a elementelor asupra cărora a intervenit omul, din cauză că a acţionat fără să le cunoască îndeajuns. Nu-i greu de presupus că exploatarea în scopuri economice impune o cunoaştere aprofundată a fenomenului de îngheţ veşnic, cu toate implicaţiile pe care le pot avea asupra vieţii ei, în general, şi asupra organizării vieţii economice a acestor ţinuturi, în special.

În acest context s-a născut ingineria permafrostului, care înseamnă abordarea aproape a tuturor problemelor de exploatare şi utilizare a mediului: de la probleme de minerit, la construcţia de conducte petroliere, de la construcţia de locuinţe, la

construcţia de poduri şi căi ferate. Iar faptul că aceste ţări, pe al căror teritoriu permafrostul ocupă procente însemnate, au structuri sociale instituţionalizate pentru problemele permafrostului, constituie încă o dovadă a preocupărilor existente pentru abordarea specială a aspectelor de organizare a activităţilor economice în aceste ţinuturi. Construirea, dar mai ales întreţinerea de drumuri, şosele şi căi ferate, a aerodromurilor, podurilor, locuinţelor, barajelor şi digurilor, conductelor de gaze şi petrol, canalelor şi liniilor de comunicaţie, ridică probleme foarte dificile, care au fost grupate în raport de procesele care le generează. Se disting patru probleme fundamentale de inginerie a permafrostului, sau cum spun unii specialişti, de inginerie a nordului. După profesorul *T. L. Péwé* (1976) acestea sînt:

— legate de topirea gheţii din permafrost, fenomene ce produc tasări (lăsări) ale terenurilor pe care sînt drumuri, aeroporturi etc.;

— care implică tasarea datorită structurilor de construcţii încălzite (locuinţe, conducte etc.);

— care rezultă din acţiunea îngheţului intensificat de drenarea slabă a permafrostului;

— care implică numai schimbarea temperaturii permafrostului provocînd înfundarea cu gheaţă a canalelor şi liniilor de petrol.

Astfel de fenomene, ca şi altele, impun ca studiul amănunţit al permafrostului să însoţească obligatoriu orice planificare a proiectelor inginereşti. Indicaţiile care se dau sînt în scopul evitării, pe cît posibil, a degradării permafrostului, de a se menţine fundaţiile stabile dacă permafrostul este subţire.

Principiul de bază pentru realizarea construcţiilor în asemenea condiţii este încercarea de a se

deranja cît mai puțin posibil permafrostul, de a nu-i schimba regimul lui de „permafrost în echilibru“ în „permafrost în dezechilibru“. Aceasta ar permite menținerea stabilității fundațiilor structurilor construite. Cînd permafrostul este subțire, există posibilitatea de a-l distruge, și atunci se aplică, de regulă, în construcție, două metode : fie una așa-zis pasivă, care să conserve permafrostul, fie alta așa-zis activă, care să-l distrugă.

Pentru aplicarea metodelor pasive se are în vedere cunoașterea temeinică a unor relații dintre factorii ce influențează delicatul echilibru termic al acestuia, respectiv factorii care duc la creșterea sau reducerea grosimii permafrostului. Se consideră de exemplu că aplicarea unui strat de pietriș sub structurile inginerești este foarte nimerită. Dar acest strat trebuie să cuprindă grosimea pe care are loc întreaga amplitudine a variațiilor termice sezoniere. În astfel de condiții permafrostul va fi conservat și nu va fi atacat de structurile de încălzire care se aplică la suprafața solului. În regiunea arctică procedeul este rentabil, căci stratul activ nu este prea gros, dar în regiunile unde acesta este mult mai gros, aplicarea lui necesită mult pietriș, cantități imense, încît devine nerentabil. Cu atît mai mult dacă se are în vedere că sub construcțiile încălzite este posibilă o topire mai adîncă decît stratul activ.

Un alt proces de care trebuie să se țină seama în construcții este procesul de *frost-heaving* menționat mai înainte (datorat acțiunii de îngheț), care se concretizează, în principal, prin tendința de deplasare a structurilor de consolidare a construcțiilor, spre „în sus“, tendință generată de succesiunea a două faze : vara are loc o slăbire a presiunii de rezistență a solului (în stratul activ) din cauza umi-

dității excesive, iar iarna se produce o creștere a presiunii solului prin îngheț, fenomen pregnant cînd permafrostul este bogat în gheață. De data aceasta se recomandă, ca cea mai bună soluție, realizarea fundațiilor pe piloni. S-a observat însă că atunci cînd pilonii sînt încastrați numai în stratul activ, din cauza înghețului sezonier aceștia sînt scoși pur și simplu din sol prin fenomenul de *heaving*, ceea ce determină, implicit, deteriorarea construcțiilor. Foarte multe poduri din regiunea nordică sînt distruse prin acest proces (vezi fig. 9). De aceea, în construcția podurilor problema principală este încastrarea pilonilor sub nivelul stratului activ.

Am prezentat numai două din multiplele posibilități de influență ale permafrostului asupra amenajărilor. Pentru a edifica și mai bine această problemă dăm cîteva aspecte concrete din experiența realizării unor construcții în condițiile date.

Construcția de șosele, de căi ferate, aeroporturi să se facă ținîndu-se seama de regimul topirii sezoniere a gheții din sol și să se evite pe cît posibil zonele bogate în gheață în sol ; la fel se va proceda în cazul construcțiilor încălzite. Cum evitarea în totalitate a zonelor bogate în gheață nu este posibilă, se aplică tehnici care fac posibilă, în timpul iernii, o circulație a aerului sub construcții, care să contracareze căldura generată de construcție. Se înțelege că cea mai economicoasă cale este aceea a construcțiilor suspendate, cu prevederea de mari spații între ele. Pentru o mai mare siguranță la aplicarea acestei metode în vederea evitării *heaving*-ului pilonii sînt prevăzuți cu niște manșoane („gulere mișcătoare“) care-i izolează de efectele stratului activ.

Necesitățile de resurse energetice au impus cu stringență căutarea și perfecționarea unor metode

care să permită exploatarea și transportarea, în astfel de condiții de permafrost, a imenselor rezerve de petrol de care dispun regiunile înghețului veșnic. Și se pare că problema care a dat mai mare bătaie de cap a fost aceea a organizării transportului gazelor și petrolului. Firește că cel mai economicos transport este prin conducte. În cazul la care ne referim apar probleme ridicate de evitarea degradării permafrostului, degradare care ar putea avea efecte negative asupra conductelor, dar se pune și problema înlăturării proceselor de *heaving* care pot să afecteze conducta. Deci, conductele ori trebuie să fie îngropate sub limita stratului activ, ori suspendate, în care caz să se ia măsuri în raport cu procesul de *heaving*, precum și cu efectele căldurii asupra permafrostului. Se consideră că transportul prin conducte suspendate barează circulația animalelor și oamenilor; în plus, acestea sînt expuse vînturilor a căror viteză este destul de mare în aceste regiuni. De asemenea, un loc important se acordă alegerii diametrului conductelor, multe dintre transformările care au loc din punct de vedere termic fiind și în legătură cu acesta. De exemplu, sovieticii au folosit pentru conducta Norilsk-Massaiaka un diametru de 72 cm. Conducta este cînd suspendată la suprafața solului la circa 1 m, din loc în loc creîndu-se refugii și pasaje pentru animale, cînd îngropată, în anumite sectoare, în loess (lîngă Yakutsk). Lungimea totală a conductei este de circa 300 km.

Dacă gazele naturale nu au efect evident în încălzirea conductelor și nici nu pun probleme de blocare a circulației din cauza înghețului, în schimb transportul petrolului, al așa-numitului petrol crud, ridică probleme destul de dificile. Cea mai importantă este temperatura ridicată a petrolului din

conducte, cu mult peste cea a permafrostului. Acest fapt a concentrat atenția specialiștilor pentru găsirea unor soluții care, pe de o parte să asigure o circulație normală a petrolului, iar pe de altă parte să evite deteriorarea conductei sub influența permafrostului, ca răspuns la raporturile noi ce apar între temperatura acestuia și a conductelor.

Se cunoaște că unul dintre cele mai ample programe de transport al petrolului prin conducte din zona înghețului veșnic l-a constituit construirea conductei petrolifere din Alaska, între localitatea Prudhoe Bay și Valdez, pe o lungime de 1285 km. Primul lucru pe care l-au stabilit specialiștii a fost alegerea diametrului conductei, de 1,2 m, funcție de care au calculat toate celelalte elemente în raport cu condițiile de mediu. Știindu-se că temperatura petrolului este ridicată la extragere, s-a propus să fie pompat în conductă la temperaturi de 70—81°C; or o astfel de încălzire poate determina un dezgheț pe mari adîncimi al permafrostului, apoi producerea unor fenomene de carst termic, de curgeri noroioase, eroziune termică, în general. Această propunere inițială a fost corectată; petrolul vine de la adîncime la o temperatură de 82°C, se pompează în conducte la 63°C, și ajunge la destinație la 57°C. La reglarea acestor temperaturi trebuie să se țină seama de debitul petrolului ce curge în conductă și de temperatura aerului și solului în diferitele regiuni pe care le traversează. În timpul curgerii în conductă petrolul ajunge de la o temperatură de 55°C la 60°C. În mod logic, toate aceste elemente au determinat alegerea soluțiilor de construcție, avîndu-se în vedere și faptul că ea traversează permafrostul continuu și zona permafrostului discontinuu, precum și regiuni fără permafrost. În acest din urmă caz (pe circa 658 km),

conducta s-a îngropat în mod convențional ca în alte regiuni ale globului unde nu există efecte ale înghețului. În zona permafrostului, pe cîteva sectoare (în total 11,2 km) a fost îngropată sub nivelul stratului activ, în condiții speciale, realizîndu-se, în primul rînd, o izolare cu pietriș ; apoi conducta a fost învelită cu un strat de 7,6 cm poliuretan, menținîndu-se permafrostul la o temperatură de îngheț printr-o a doua conductă, numită de refrigerență (prin ea circulă apă sărată refrigerată). Conducta a fost suspendată pe o lungime de 615 km și, pentru a se evita efectele nedorite ale *frost-heaving*-ului, fiecare stîlp are instalat un mecanism refrigerent. În sfîrșit, pentru a se evita deformarea conductei la încălzirea dată de petrol, i s-a dat o configurație specială a traseului, calculată în funcție de întregul complex de factori din regiune. Am prezentat mai pe larg aceste cîteva aspecte, pentru a căpăta pe cît posibil imaginea cu totul deosebită pe care o prezintă amenajările și exploatările din zona permafrostului, în comparație cu cele care se fac în regiunea în care ne aflăm.

MAI ÎNGHEAȚĂ PĂMÎNTUL ?

Întrebarea ne-o punem în sens figurativ, căci nu poate fi vorba de o înghețare totală a planetei. Așa ceva nici nu ar putea fi posibil. Ea are în vedere faptul dacă mersul actual al evoluției climei ne duce spre o nouă expansiune a permafrostului sau nu ; cu alte cuvinte, dacă va fi sau nu o altă perioadă glaciară în timpul ce urmează imediat.

Multe ziare din lume, unele cu o mare priză la public, au publicat știri și opinii asupra schimbărilor climatice ale planetei noastre. A le discuta, cel puțin pe majoritatea dintre ele, ar fi imposibil într-o lucrare ca cea de față. Vom încerca însă, în cele ce urmează, ca în loc de concluzii la lucrare, să expunem cîteva dintre părerile autorului, ale unor specialiști de notorietate în domeniul paleoclimatologiei.

În prima parte a lucrării am scris despre cauzele înghețului veșnic și am prezentat succint aspecte ale resorturilor ce pun în funcțiune marile schimbări climatice. Metodele de investigație de care dispune în prezent știința sînt extrem de numeroase și din ce în ce mai perfecționate. Aceasta a permis să se analizeze în detaliu evoluția în timp

și spațiu a unor elemente dependente de factorul climatic. Există astăzi curbe de temperatură determinate pentru perioade de sute și sute de mii de ani, care au la bază un extraordinar de bogat material informațional. Vom enumera cazuri de curbe ale paleotemperaturilor determinate pe baza analizei coleopterelor fosile, structurilor periglaciare produse în sol de îngheț-dezgheț, apelor fosile din mări și oceane și din lacuri mari, analizei paleomagnetice a depozitelor, analizelor radioactive ale apelor fosile și sedimentelor, volumului de pori din ghețarii continentali, a conținutului de carbon organic, aminoacizi, hexozamine, din sedimentele marine și oceanice, a variației cîmpului paleomagnetic, a bilanțului ghețarilor, eustatismului (raporturile dintre suprafețele ocupate de mări-oceane și uscat, în zona țărmurilor), analizei polinice și paleofaunistice etc.

În special, cercetările pentru ultimii 10 000—10 500 de ani, care cuprind perioada ce se numește *holocen* și care este considerată ca un interglaciar, au dus la obținerea unui imens fond de date cu privire la temperatură, presiune atmosferică, vînturi și precipitații.

În baza analizei curbelor de paleotemperaturi, dintre care noi o exemplificăm pe cea dată de suedezul *A. Morner* (1974), rezultă că în ultimii 10 500 de ani variația temperaturii s-a înscris (fig. 14) în niște cicluri mici de încălzire-răcire; totuși aproximativ din anul 10 500 față de prezent a avut loc o creștere accelerată, cu circa 8—10°C față de sfîrșitul perioadei glaciare; creșterea a continuat, în linii mari, pînă în urmă cu circa 5800—6000 ani (perioada numită Atlantic) — atunci pădurile din Carpați au urcat pînă la circa 2000 m altitudine —, după care a urmat o răcire generală în care ne cu-

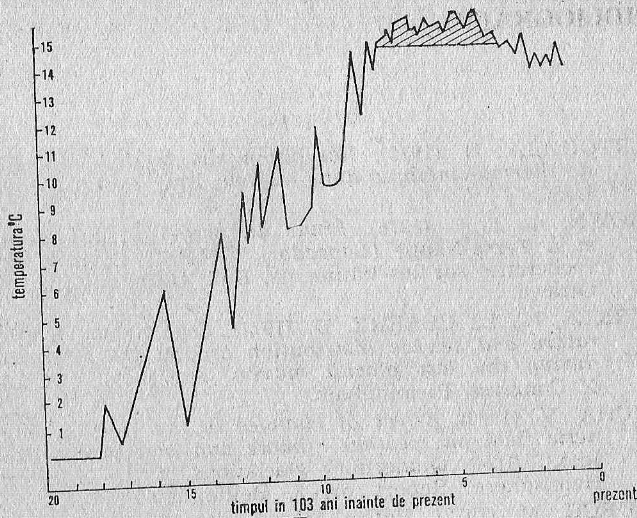


Fig. 14. Variația temperaturii medii din timpul verii, în ultimii 18 000 de ani, în Europa de nord-vest (după *A. Morner*, 1974).

prindem și astăzi, răcire, față de atunci, cu circa 2°C. Observăm de pe această curbă sensul general descendent al mersului temperaturii. Rezultă că ne aflăm într-o fază de răcire, iar dacă luăm în calcul ipoteza ciclurilor lui *Milanković*, ne aflăm spre sfîrșitul unui interglaciar. Dar aceasta nu trebuie să îngrijoreze pe nimeni, căci procesul de răcire are loc foarte lent. Calculînd pentru ultimii 6000 de ani rezultă o medie de circa 0,0003°/an, ceea ce pentru existența noastră istorică și nu „geologică" oferă timp de adaptabilitate.

BIBLIOGRAFIE

BERTOUILLE, H. (1973), *Résolution simple de problèmes de thermo-cinétique dans les sols*, Biul. Perigl., nr. 22, Łódź.

BROWN, R., J., E. (1976), *Étude du pergélisol au Québec et à Terre-Neuve (Labrador)*, C.N.R.C., Division des recherches sur les bâtiments, Bull. technique, nr. 449, Ottawa.

BURKLE, N., L., CLARKE, D. (1977). *Sea surface temperature and sea-ice distribution around the Antarctic during the last glacial maxim*, Abstracts, INQUA, X Congress, Birmingham.

BUCHA, V. (1976), *Effect of changes in the Earth's magnetic field on weather climate and glaciations*, Project 73/1(24), Quaternary glaciations in the Northern Hemisphere, Report nr. 3, Bellinghau-Prague.

CHURCH, M. (1972), *Baffin Island sandurs: a study of Arctic fluvial processes*, Geological Survey Canada, Bulletin 216.

CZUDEK, T., DEMEK, J. (1970), *Thermocarst in Siberia and its influence on the development of Lowland relief*, Quaternary Research, 1.

DEGENS, E., T., HECKY, R., S. (1974), *Paleoclimatic reconstruction of late Pleistocene and Holocene based on biogene sediments from Black Sea and tropical African Lake, Le climat au cours de Pléistocène*, Gif-Sur-Yvette, Paris, 1973.

DENTON, G., H., HUGHES, T., ANDERSSEN, G. B. (1977), *Reconstruction of global ice sheet at 18 000 B. P.*, Abstracts of X[th] INQUA Congres, Birmingham.

DUVAL-BIJU, B. (1974), *Exemples de dépôts fluvio-glaciaires dans l'Ordovicien supérieur et le Précambrien supérieur du Sahara*, Bull. Centre Rech., Pau-SNPA, t.8, nr. 1.

DYLIK, J. (1971), *L'érosion thermique actuelle et ses traces figées dans le paysage de la Pologne Centrale*, Bull. de l'Académie Polonaise des Sciences, Séries de Sc. de la Terre, vol. XIX/1.

FRENCH, M., H. (1976), *The periglacial Environment*, Longman, London and New York.

GILL, D. (1973), *A spatial correlation between plant distribution and unfrozen ground within a region of discontinuos permafrost*, în Permafrost: The North American Contribution to the Second International Conference, Washington.

HAMELIN, L. COOK, FR. (1967), *Périglaciaire par l'image*, Université de Laval, Québec.

HOROWITZ, A. (1977), *Possible causes for ice ages and climate changes*, Abstracts of X[th] INQUA Congress, Birmingham.

JOURNAUX, A., DRESCH, J. (1972), *Phénomènes périglaciaires en Sibérie Orientale. Définition d'une nouvelle région périglaciaire actuelle*, Bull. de l'Assoc. de géograph. français, nr. 395/39.

JAHN, A. (1972), *Some regularities in thermocarst development*, Les Congrès et Colloques de l'Université de Liège, vol. 67. (Processus périglaciaires, études sur le terrain).

KARLOV, N., N. (1969), *A new classification of eologliptolithes*, Bull. Perigl., nr. 19, Łódź.

KENNETT, P., J. (1977), *Development of Polar glaciation and late Cenozoic Paleooceanography of the Antarctic Region*, Abstracts of X[th] INQUA Congress, Birmingham.

KOWALSKI, K. (1977), *Les mamifères de la zone arctique*, La Recherche no. 27, avril, Paris.

LAMB, H., H. (1977), *The late Quaternary history of the climate of the British Isles*, în British Quaternary Studies, Recent advances, ed. F. W. Shatton, Calderon Press-Oxford.

LAMB, H. H. (1976), *Les fluctuations climatiques à longue terme*, Miscéllanées.

MACKAY, R. (1972), *The world of underground ice*, Ann. Assoc. of American Geographers, vol. 62.

MACKAY, R. (1972), *Offshore Permafrost and a ground ice, Southern Beaufort Sea, Canada*, Canadian Journal of Earth Science, 9.

MORNER, N-AXEL (1973), *Climatic changes during the last 35 000 years as indicated by land, sea, and air data*, Boreas, nr. 2.

MORNER, N-AXEL (1974), *Sea level variations and climatic fluctuations*, Colloques Internationaux de C.N.R.S., nr. 219, Paris.

NICULESCU, GH. (1960), *Munții Godeanu, Studiu geomorfologic*, Editura Academiei, București.

PÉWÉ, T. (1976), *Permafrost challenge of the Arctic*, în Yearbook of Science and Future, Enciclopedia Britanica.

PISSART, A. (1967), *Les modalités de l'écoulement de l'eau sur l'île Prince Patrik (76°lat. N, 120°long.O.* Arctique canadienne), Biul. Perigl., nr. 16.

PISSART, A. (1975), *Glace de ségrégation, soulèvement du sol et phénomènes thermocarstiques dans les régions à pérgélisol*, Bull. de la Societé géogr. de Liège, nr. 111.

POSEA, GR., POPESCU, N., IELENICZ, M. (1974), *Relieful României*, Editura științifică, București.

RAUP, H. (1971), *Miscellaneous contributions on the vegetation of the mertors vig district northerst Greenland*, Meddelesler am Grønland, uggivare af Kommissionen for videnkobelinge undersøgelser, Grønland, Bd. 194, nr. 2 København.

ROBINSON, H. (1970), *Morphology and landscape*, University Tutorial Press LTD, London.

SELBY, J., M., RANIS, B., R., PALMER, P., W., R., (1974), *Eolian deposits of the ice-free Victoria Valley, Southern Victoria Land, Antarctica*, New Zeeland, Journal of geology and geophysics, vol. 17, nr. 3.

SELBY, J., M. (1973), *Antarctica. The Key of the Ice Age*, New Zeeland geographer, vol. 29, nr. 2.

TRESNIKOV, F., A. (1965), *Istoria descoperirii și cercetării Antarcticii*, Editura științifică, București.

TRICART, J. (1970), *Geomorphology of cold Environments*, Marnulla, St. Martin's Press, New York.

VANGENGJM, A., E. (1975), *Sur la faune périglaciaire du Pléistocène*, Biul. Perigl., nr. 24.

WATSON, E. (1977), *The periglacial environment of Great Britain during the Devensian*, în Phil. Trans. R. Soc., London, B. 280.

WEIDICK, A. (1975), *A Review of Quaternary Investigations in Greenland*, Institut of Polar Studies, Report 55, Copenhague.

ŞTIINŢA PENTRU TOŢI

95

Multă vreme, datorită vitregiei condiţiilor naturale, regiunile cu îngheţ peren nu au stîrnit interesul exploratorilor şi al cercetătorilor, deşi pe cuprinsul lor erau comunităţi de oameni adaptaţi acestor condiţii, iar continuitatea de locuire a unor astfel de ţinuturi datează de milenii. Este suficient să menţionăm că în Groenlanda, cea mai mare insulă a globului, din a cărei suprafaţă de 2 175 600 km^2 doar 341 700 km^2 nu sînt acoperiţi cu gheaţă, există astfel de dovezi că omul a populat asemenea ţinuturi începînd cu cel puţin 4000 de ani în urmă, iar de circa 3000 de ani se păstrează indicii ale folosirii grăsimii pentru iluminat. De la flacăra acestor luminări, semănate ca nişte boabe de speranţă pe marginea nopţii polare în aşteptarea soarelui, şi pînă la flacăra gazelor naturale din îndepărtata localitate alaskaiană Barrow, s-au scurs peste trei milenii, şi astăzi nordul îngheţurilor veşnice a fost luat cu asalt în lupta, din ce în ce mai istovitoare, de exploatare şi valorificare a resurselor energetice.

Editura ştiinţifică şi enciclopedică Lei 2,60